



Heli Suurmäki

Mittakaavapoikkeamien selvittäminen lattakomparaattorilla

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Maanmittaustekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
25.11.2011

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Heli Suurmäki Mittakaavapoikkeamien selvittäminen lattakomparaattorilla 27 sivua + 5 liitettä 25.11.2011
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaaja(t)	yliopettaja Vesa Rope vanhempi tutkija Paavo Rouhiainen
<p>Insinööriyön tarkoitus on ajanmukaistaa olemassa olevia kalibrointiohjeita. Geodeettinen laitos (GL) on Suomen kansallinen mittanormaallilaboratorio. Laatujärjestelmä edellyttää ohjeiden ajanmukaistamista. Mittanormaallilaboratorion toiminta noudattaa ISO/IEC17025- ja ISO9001-laatujärjestelmän vaatimuksia.</p> <p>Mittanormaalityö perustuu Suomen lakiin. GL kuuluu kansainväliseen sopimukseen, jossa kalibroinnit ovat vertailukelpoisia toistensa kanssa. Vaaituksen mittakaavapoikkeamat selvitetään lattakomparaattorin avulla. Lattakalibroinnissa latta-asteikon pituutta verrataan laserinterferometrin antamaan pituuteen ja järjestelmäkalibroinnissa kojeen antamaa latalukemien erotusta verrataan laserinterferometrin lukemiin.</p> <p>Mittausten jäljittävyys varmistetaan säännöllisellä kalibroinnilla. Kalibroinnilla selvitetään vaaitusjärjestelmän mittakaava sekä tarkat tiedot mittausjärjestelmän toimivuudesta. Kalibrointituloksissa pitää näkyä tieto tulosten epävarmuudesta, jotta tietoa voidaan pitää jäljitettävänä. Pituusvirhe kertyy useissa toistoissa, joten latta-asteikot ja kojeiden järjestelmät kalibroidaan vuosittain mittaamalla pituusvirheet lattakomparaattorilla. Latalla ja kojeella on omat mittakaavansa. Mittausepävarmuus riippuu olosuhteista ja lattaviivojen laadusta. Tarkka ja vertailukelpoinen mittaus tehdään, kun lasersäde, laserinterferometrin prisma ja koodiviivasto muodostavat suoran jatkeen.</p>	
Avainsanat	kalibrointi, laserinterferometri, komparaattori, vaaitus, mittakaava

Author(s) Title	Heli Suurmäki Scale anomaly detection by rod comparator
Number of Pages Date	27 pages + 5 appendices 25 November 2011
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land surveying
Instructor(s)	Vesa Rope, Principal Lecturer Paavo Rouhiainen, Senior Research Scientist
<p>The purpose of this bachelor's thesis is to modernize the existing calibration instructions. The Finnish Geodetic Institute (FGI) is the Finnish National Standards Laboratory. The Quality Management system requires the instructions to be updated. The operation of the National Standards Laboratory complies with the ISO/IEC17025 and ISO 9001 quality management system requirements.</p> <p>The Standards Laboratory operations are based on Finnish law. FGI belongs to an international agreement in which the calibrations are comparable with each other. In the calibration of leveling rods rod scale length is compared to the readings of laser interferometer and in system calibration the difference in the instrument's readings is compared to the laser interferometer readings. Regular calibration ensures the traceability of measurements. Calibration shows the scale of the leveling system and details of the effectiveness of the measurement system.</p> <p>Calibration results must show the uncertainty of information so that the information can be traced. An error in length is multiplied in several repetitions so the rod scales and instrument systems are calibrated annually by measuring the errors in length with a rod comparator. Rods and levels have their own scales. Measurement uncertainty depends on the circumstances and the quality of the rod graduation lines. Accurate and comparable measurements are taken when the laser beam, laser interferometer prism and the code lines form a straight extension line.</p>	
Keywords	calibration, laser interferometer, rod comparator, leveling, measurement scale

Sisällys

Termit	
1 Johdanto	6
2 Historia	10
3 Mittakaavapoikkeamien selvittäminen	12
3.1 Kalibrointien tarkoitus	12
3.1.1 Tarkkavaaituslatta	13
3.1.2 Digitaalinen vaaituskoje	14
3.2 Komparaattori	15
3.2.1 Komparaattorin osat	16
3.2.2 Komparaattorin toiminta	17
3.2.3 Laserinterferometri	18
3.2.4 Ilmastointi ja lämpötilamittaus	20
3.2.5 Sääarvot	20
4 Kalibrointitodistukset	22
5 Päätelmiä	24
Lähteet	25
Liitteet	
Liite 1. Lattakalibroinnin mittausohje	
Liite 2. Järjestelmäkalibroinnin mittausohje	
Liite 3. Esimerkki laskentataulukosta	
Liite 4. Kalibrointien hinnasto v. 2011	
Liite 5. Kalibrointitodistus (salainen)	

Termit

Akkreditointi	Akkreditointi on arviointiin ja näyttöön perustuvaa, virallista tai auktorisoitua, aseman tunnustamista. Akkreditointi on viranomaisen myöntämä tarkastukseen perustuva pätevyyden hyväksyntä, joka takaa ammattitaidon ja kokemuksen tehtävän suorittamiseen. Akkreditointiviranomaiset ovat kansallisia viranomaisia ja ne vastaavat sertifiointilaitosten, laboratorioden ja tarkastuslaitosten hyväksynnästä.
Auditointi	Auditointi on määrämuotoinen ja objektiivinen arviointi asetettujen vaatimusten täyttymisestä. Vaatimukset voivat olla mm. laatujärjestelmävaatimuksia. ISO9000-sertifikaatteja varten tehtävän auditoinnin voi suorittaa ainoastaan sitä varten akkreditoitu taho.
Ekvivalenssisopimus eli CIPM MRA -sopimus	MRA-sopimus tarkoittaa sitä, että sopimuksen piirissä olevat kansalliset mittanormaalilaboratoriot tunnustavat toistensa antamat mittaus- ja kalibrointitodistukset tasavertaisiksi. CIPM MRA -sopimus kattaa kaikki tieteen ja teknologian osat alueet, joilla kansallisilla metrologialaitoksilla on kansalliset mittanormaalit. Monenkeskiset tunnustamissopimukset antavat lisäarvoa akkreditoituna annetuille todistuksille ja sertifikaateille. CIPM tarkoittaa Kansainvälistä Painojen ja Mittojen Komiteaa, International Committee for Weights and Measures.
EURAMET (entinen EUROMET)	EURAMET, European Association of National Metrology Institutes on Euroopan maiden kansallisten metrologian laitosten yhteistyöorganisaatio. EURAMET:n tarkoituksena on koordinoita mittanormaalitoimintaa Euroopassa ja tuoda

olemassa olevat kansalliset kalibrointiresurssit kaikkien ulottuville.

Geodeettinen laitos	Geodeettinen laitos (GL) toimii Maa- ja metsätalousministeriön alaisena itsenäisenä paikkatietoinfrastruktuurien tutkimus- ja asiantuntijalaitoksena. GL on perustettu vuonna 1918. GL huolehtii kartoituksen tieteellisistä perusmittauksista.
Geopotentialiaali	Geopotentialiaali on Maan painovoimakentän potentiaalia. Painovoima, joka on pyörivän Maan pinnalla vallitsevan gravitaation ja Maan pyörähdysliikkeen yhteisvaikutus. Korkeusero ja keskimääräinen painovoima kerrotaan keskenään, saadaan pisteiden välinen geopotentialiero
ISO	International Organization for Standardization, ISO on kansainvälinen standardisoimisjärjestö. ISO on perustettu vuonna 1947 ja se tuottaa kansainvälisiä standardeja. ISO/IEC17025 tarkoittaa standardia, jossa kansainvälisesti määritetään kalibrointi- ja testauslaboratorioiden pätevyysvaatimukset. ISO9000 käsittää kansainvälisten standardien ja ohjeiden laadunhallintajärjestelmän.
Interferometri	Interferometri on laite optiikassa, joka yhdistää kahdesta eri lähteestä tulevat valoallot tai muut aallot yhdeksi kuvaksi eli interferenssikuviksi. Tietoa kohteesta saadaan tätä interferenssikuviota tutkimalla. Myös interferometriä säädettäessä tapahtuvia interferenssikuvion muutoksia voidaan tutkia. Interferometriä on sovelletun tieteen ala, jossa useista datatyypin syötetiedoista muodostetaan yhdistämällä esitys. Usein mittaukset ovat optisia.
Jäljitettävyyys	Jäljitettävyydellä tarkoitetaan mittaustuloksen tai mittanormaanin yhteyttä kansallisiin tai kansainvälisiin mit-

tanormaaleihin tai muihin vastaaviin vertailupisteisiin, sellaisen aukottoman vertailuketjun välityksellä, jossa on ilmoitettu kaikkien vertailujen epävarmuudet.

Kalibrointi	Kalibrointi tarkoittaa mittauslaitteen ja -järjestelmän tarkkuuden määrittämistä. Kalibrointi käsittää toimenpiteet, joiden avulla määritetyissä olosuhteissa saadaan tietoon mittauslaitteen tai mittausjärjestelmän suureiden arvojen ja standardeilla toteutettujen arvojen välinen yhteys. Kalibroinnissa etsitään jäljitettävyyttä mittanormaaliin. Mittauslaitteen tai -järjestelmän näyttämän oikeellisuuden testauksella saadaan selville systemaattiset virheet ja satunnaisten virheiden aiheuttama hajonnan arvo. Vain kalibroinnin avulla voidaan määrittää mittauslaitteen tai -järjestelmän tarkkuus, mittaustuloksen ja oikean arvon yhteensopivuus.
Komparaattori	Komparaattorilla mitataan kahdella eri tavalla pituus, joita vertaillaan keskenään.
Metri (m)	Metri on matkan pituus, jonka valo kulkee tyhjiössä aikavälissä $1/299\,792\,458$ sekuntia. Mittayksikkö metri kuuluu SI-järjestelmään. (Vuosina 1960–1983 metri määritettiin aallonpituuden avulla.)
Metrologia	Metrologia on tiede, joka tutkii mittaamista ja mittausyksiköitä.
Mittatekniikan keskus	Mittatekniikan keskus, MIKES on metrologiaan erikoistunut tutkimuskeskus. Mittatekniikan keskus ylläpitää SI-järjestelmän mittanormaaleja sekä määrittää Suomen virallisen ajan.
Mittanormaali	Mittanormaali on referenssi, johon vertaamalla voidaan tarkistaa ja kalibroida mittalaitteita.

Kansallinen Mittanormaalilaboratorio, KML

Mittanormaalilaboratoriotoiminnan on täytettävä tieteellinen ja tekninen pätevyys, toiminnan täytyy olla puolueetonta ja luotettavaa. Kansallisen mittanormaalilaboratorion tehtävänä on ylläpitää kansallista mittanormaalia ja sen jäljitettävyyttä sekä siirtää sen kautta mittayksikkö muihin mittanormaaleihin. Mittanormaalilaboratorioiden tulee ylläpitää kansallisten mittanormaalia sekä kehittää mittatieteellistä tutkimusta, osallistua kansainvälisiin vertailumittauksiin ja muuhun kansainväliseen yhteistyöhön sekä toimia asiantuntijana pätevyysalueellaan.

Mittausepävarmuus	Mittausepävarmuus on luku, jolla ilmaistaan kalibroinnin tarkkuus.
Mittauksen tarkkuus	Mittauksen tarkkuus tarkoittaa mittaustuloksen ja tosiarvon hyväksyttyä yhtäpitävyyttä.
ppm	Parts per million, ppm on suhteellinen pitoisuusmitta, joka ilmaisee, kuinka monta miljoonasosaa jokin on jostakin.
Satunnaisvirhe	Satunnaisvirhe on mittaustuloksen ja sellaisten mittausten keskiarvon erotus, jossa keskiarvo saadaan mittaamalla sama mittaussuure äärettömän monta kertaa toistuvissa olosuhteissa.
SI-järjestelmä	SI-järjestelmä on kansainvälinen mittayksikköjärjestelmä. SI-järjestelmä sai nimensä vuonna 1960, järjestelmä perustuu Ranskassa 1700-luvun lopulla käyttöön otettuun metrijärjestelmään. Kansainvälinen metrisopimus solmittiin vuonna 1875. Mittayksikköjärjestelmä otettiin käyttöön Suomessa vuonna 1965. Käytössä olevat SI-järjestelmän perussuureet ja yksiköt: aika (sekunti, s), pituus (metri, m), massa (kilogramma, kg), termodynaaminen lämpötila (Kel-

vin, K), sähkövirta (ampeeri, A), ainemäärä (mooli, mol), valovoima (Kandela, cd).

Suhteellinen virhe Suhteellinen virhe on mittausvirhe jaettuna mittaussuureen tosiarvolla.

Suomen kansallinen akkreditointipalvelu, FINAS

Suomen kansallinen akkreditointipalvelu, FINAS toteaa päteväksi mm. kalibrointi- ja testauslaboratorioita. FINAS toimii Suomessa kansallisena akkreditointielimenä, jonka tehtävänä on tarjota kansainvälisten kriteerien mukaista akkreditointipalvelua. (Laki mittatekniikan keskuksista 921/2005). FINAS toimii toiminnallisesti ja taloudellisesti itsenäisenä osana Mittatekniikan keskusta.

Systemaattinen virhe Systemaattinen virhe on keskiarvon ja mittaussuureen tosiarvon erotus, missä keskiarvo saadaan mittaamalla sama mittaussuure äärettömän monta kertaa toistuvissa olosuhteissa.

Toistuvuus Toistuvuus on saman mittaussuureen peräkkäisten mittaustulosten yhtäpitävyys, kun mittaukset suoritetaan samoissa olosuhteissa.

(Sanaston kokoamisessa käytetyt lähteet: www.mikes.fi, www.fgi.fi, www.wikipedia.fi)

1 Johdanto

Insinööriyön aiheena on mittakaavapoikkeamien selvittäminen lattakomparaattorin avulla. Komparaattorissa mittauksia tehdään kahdella eri mittausmenetelmällä yhtä aikaa ja toisena menetelmänä on aina laserinterferometri, jotta jäljitettävyyttä säilyisi.

Insinööriyön tavoitteena on myös selvittää miksi ja miten lattakomparaattorilla kalibroidaan. Kalibrointi noudattaa Suomen kansallisia ohjeita ja määräyksiä ja sen lisäksi kalibroinnit noudattavat kansainvälistä sopimusta, jossa eri maissa tehdyt kalibroinnit ovat vertailukelpoisia. Suomen laboratoriossa kalibroidaan paljon ulkomailta tulleita tarkkavaahtuslattoja ja digitaalisia vaaituskojeita. Alalla on runsaasti erilaisia termejä ja käytäntöjä, joita pyritään jo johdanto-osiossa selvittämään.

Kalibrointiohjelmaan on tullut muutoksia, joiden takia nykyiset ohjeet ovat vanhoja ja epätäydellisiä. Insinööriyö tulee toimimaan uutena ohjeena lattakomparaattorin avulla tehtäviin kalibrointeihin ja se liitetään Geodeettisen laitoksen metrologian ohjekirjaan.

Metrologian (tiede, joka tutkii mittaamista ja mittaussyksiköitä) pääalueita ovat kansainvälisesti hyväksytyt mittayksiköt, tieteellinen mittayksiköiden toteuttamisen jäljitettävyyttä (mittaustuloksen tai mittanormaanin yhteys mittanormaaleihin tai vastaaviin) sekä mittausten tarkka ja avoin jäljitettävyyssketju. Jatkuvan tutkimustyön myötä metrologian perustaa kehitetään ja kehittyvät metrologian alat toimivat yhdessä innovatiivisen (kekseliään) tutkimuksen kanssa. [4; 5; 11; 19.]

Metrologiassa tärkeä yhteistyöelin on EURAMET (Euroopan kansallisten metrologian laitosten yhteistyöorganisaatio), johon kuuluu useita teknisiä komiteoita. Kansallisten mittanormaallaboratorioiden (KML, ylläpitää kansallista mittanormaalia ja sen jäljitettävyyttä sekä siirtää mittayksiköitä muihin mittanormaaleihin) kuuluu osallistua alan komiteoiden toimintaan. [1; 11.]

Kansainväliset sopimukset vaativat yhteisten järjestelmien käyttöä. Yhteistyö ammatillisten ja maantieteellisten rajojen yli edellyttää luottamusta eri tahojen välillä. Verkostoituminen, vertailumittaukset, yhtenäiset mittaustavat sekä laboratorioden akkreditointi (arviointiin ja näyttöön perustuvaa aseman tunnustaminen) ovat luottamuksen edellytys. Mittanormaalilaboratorioiden kalibrointitoiminta vaatii erikoissuunnitellut toimitilat, tarkat kalibrointilaitteet, innovatiivisen ja osaavan henkilökunnan sekä johdon tuen toiminnalle. [1; 4; 11; 14; 16; 25.]

Kalibrointitoiminta (mittauslaitteen ja -järjestelmän tarkkuuden määrittäminen) rakentuu ajantasaisista kalibrointiohjeista, mittausten dokumentoinnista, mittauslaitteista sekä kalibrointilaitteiden jäljitettävyyshetjasta. Mittausten jäljitettävyys edellyttää katkeamattoman vertailuketjun, SI-yksiköt, mittauserävarmuuden esittämisen, dokumentoinnin sekä laitteiden uudelleen kalibroinnit. Kalibrointia tarvitaan, jotta mittausten luotettavuus ja vertailukelpoisuus saadaan varmistettua. Ulkopuolisen tutkimus- ja kehitysrahoituksen kasvattaminen on yksi tärkeimmistä tulevaisuuden tavoitteista. Suomessa panostetaan tunnetuksi tekemiseen sekä tiedottamiseen kalibrointien ja jäljitettävien mittausten merkityksestä. Nykyaikana aktiivinen tiedotustoiminta, avoimuus ja verkostoituminen ovat tärkeitä toimintakeinoja tieteellisessä työssä. [1; 11; 14; 16.]

Mittatekniikan keskus (MIKES) on metrologiaan erikoistunut tutkimuskeskus, joka ylläpitää SI-järjestelmän mittanormaaleja, nimeää kansalliset mittanormaalilaboratoriot sekä määrittää Suomen virallisen ajan. Suomen kansallisia mittanormaalilaboratorioita ovat Mittatekniikan keskus (MIKES), Ilmatieteen laitos (IL), MIKES-Aalto Mittaustekniikka sekä erillisen lainsäädännön määäämät Geodeettinen laitos (GL), Säteilysurvakeskus (STUK). [11; 12.]

Maa- ja metsätalousministeriön alaisena toimiva tutkimuslaitos, Geodeettinen laitos (GL) huolehtii Suomen kartoituksen tieteellisistä perusmittauksista ja paikkatietojen metrologiasta. Geodeettinen laitos (itsenäinen paikkatietoinfrastruktuurien tutkimus- ja asiantuntijalaitos) toimii pituuden ja putoamiskiihtyvyyden kansallisena mittanormaali-laboratoriona (KML) sekä ylläpitää geodeettisten mittausten mittanormaaleja. [2; 3; 7.]

Kansallisen mittanormaali-laboratorion tehtävänä on ylläpitää kansallista mittanormaalia sekä sen jäljitettävyyttä. Geodeettisen laitoksen mittanormaali-toiminta perustuu lakiin (1993/1156, 581/2000) ja toimintaa ohjaava laadunhallintajärjestelmä täyttää standar-dien ISO/IEC17025 ja ISO9001 vaatimukset. Laatu-järjestelmällä varmistetaan vaati-musten täyttyminen sekä systemaattiset ja dokumentoidut laboratoriotoiminnot. [2; 3; 7.]

Geodeettinen laitos nimitettiin vuonna 1978 mittanormaali-laboratorioksi. Laatu-järjes-telmällä varmistetaan vaatimusten täyttyminen sekä systemaattiset ja dokumentoidut laboratoriotoiminnot. Pituuden kansalliseen mittanormaali-laboratorioon kuuluvat Num-melan normaaliperusviiva ja lattakomparaattori-toiminta. Nummelan normaaliperusviiva (864 metriä) on maastoon merkitty välimatka, jonka pituus tunnetaan (Väisälän inter-ferenssikomparaattorilla 864122,75 millimetriä) $\pm 0,1 \dots \pm 0,2$ ppm (suhteellinen pitoi-suusmitta, joka ilmaisee kuinka monta miljoonasosaa jokin on jostakin) mittausepä-varmuudella (ilmaisee kalibroinnin tarkkuuden) ja on jäljitettävissä metrin määritel-mään. Mittakaavan vertailumittana käytetään kvartsimetriä. Vaisalan interferenssikom-paraattori (valkoisen valon interferometri) on tarkin mittauslaite mitattaessa alle kilo-metrin mittaisia pituuksia. Laite kehitettiin Suomessa noin 90 vuotta sitten. Perusviivoja käytetään mittanormaaleina siirrettäessä pituutta edelleen mittauslaitteisiin. [7; 25.]

Putoamiskiihtyvyyden mittanormaali-laboratoriotoimintaan kuuluvat subrajohtava gra-vimetri sekä absoluuttigravimetri. Painovoimamäärityksen vertailupisteinä voidaan käyttää Geodeettisen laitoksen Metsähovin tutkimusaseman painovoimapisteitä, muita Suomen alueella mitattuja absoluuttipainovoimapisteitä sekä I-luokan painovoimaver-kon pisteitä. Suprajohtavaa ja absoluuttigravimetriä voidaan verrata keskenään, jolloin suprajohtava gravimetri saa luotettavan kalibrointitekijän ja absoluuttigravimetri ajan- ja massavaihteluiden suhteen luotettavat korjausparametrit. [7; 25.]

Vuonna 2002 Geodeettinen laitos liittyi kansallisten mittanormaalien kalibrointi- ja mitaustodistusten vastavuoroiseen kansainväliseen CIPM MRA -tunnustamissopimukseen (ekvivalenssisopimus, sopimuksen piirissä olevat kansalliset mittanormaallilaboratoriot tunnustavat toistensa antamat mittaus- ja kalibrointitodistukset tasavertaisiksi). Sopimuksessa on mukana metrisopimukseen kuuluvia kansallisia metrologian laitoksia noin neljästäkymmenestä maasta. [11; 14; 17; 18.]

Toinen pituuden mittanormaallilaboratorion toiminnoista on pystyasentoinen lattakomparaattori. Lattakomparaattorilla kalibroidaan muun muassa tarkkavaaituslattoja sekä vaaituskojeita. Lattakomparaattorin mittanormaali on punaisen valon laserinterferometri. Lattakomparaattorin toimintaa selvitetään tarkemmin tässä insinööriyössä. [7; 8; 10; 15; 25.]

2 Historia

Suomalainen metrologiatoiminnassa suurin kehitys alkoi vuoden 1886 jälkeen, jolloin Suomi siirtyi suuriruhtinaan määräämän asetuksen myötä pois ruotsalaisesta mittajärjestelmästä metrijärjestelmään. Metrijärjestelmään siirtymisen toimeenpano ja valmisteleminen annettiin Maanmittausylihallituksen alaiselle Vakauskomissionille (myöhemmin Vakauslaitos), joka toimi vuosina 1885–1972. Vakauskomissionin muodosti Maanmittausylihallituksen ylijohtaja sekä vakausten tarkastelija. Vakauskomissioni hankki Suomeen kalibroidut, messinkiset metrin (pituus) ja kilogramman (massa) prototyypit vuonna 1870. [13; 31.]

Suomen Ensimmäisessä tarkkavaaituksessa (vuosina 1892–1910) latta-asteikon kalibroinnissa vertailumittana käytettiin kansallista pituuden mittanormaalia. Lattoja verrattiin normaalimetriin kaksi kertaa kuukaudessa. Vaaitustuloksissa käytetty korjaus oli kahdeksankymmenen mittauksen keskiarvo. Yhden metrin pituisissa terässauvoissa oli hopealevyt päissä, senttimetrijaotus asteikossa sekä lämpötilamittarit. Mittanormaali asetettiin asteikon päälle ja suurennuslasilla luettiin vertailumitan ja vastaavan jakoviihan erotus kummastakin päästä mittanormaalia. Vertailumitassa metrin pituus oli molemmissa päissä olevien piirtoviivojen välinen etäisyys lisättynä muutaman mikrometrin korjauksella. Korjaus määritettiin suhteellisella mittausepävarmuudella. Metriprototyyppi kalibroitiin säännöllisesti vertaamalla sen pituutta kansainvälisen metriprototyypin pituuteen Pariisin kansainvälisessä Paino- ja Mittatoimistossa (BIPM) ja Suomen kansalliset käyttönormaalit verrattiin Vakaustoimiston metrikomparaattorissa kansalliseen metriprototyyppiin. [14; 17; 21; 27; 29.]

Suomen Toisen tarkkavaaituksen (vuosina 1935–1975) aikana käytettiin mikroskooppikomparaattoria. Komparaattorissa oli puinen runko, jonka kummassakin päässä oli mikroskoopit ja sivuissa korkeuden säätöruuvit. Kalibroinnissa lattaa liikutettiin komparaattorin alla. Mittamikroskooppien välimatka määritettiin normaalimetrin avulla, jonka jälkeen havaittiin jakoviivojen välimatkat. Jokaiselle latalle määritettiin viivavälien etäisyydet mittamikroskoopeilla. [24; 25; 26; 27; 30.]

Vaakapenkillä olevan komparaattorin suunnittelu alkoi vuonna 1971. Suomessa ainutlaatuinen, laseria hyväksikäyttävä komparaattori otettiin käyttöön Geodeettisessa laitoksessa vuonna 1974. Laserinterferometrin käyttöönoton jälkeen pystyttiin mittaamaan tarkasti kiskoilla kulkevan latan etäisyyden muutoksia. Kansallinen mittanormaalitoiminta alkoi vuonna 1978, jolloin valtioneuvosto nimitti valtiollisia tutkimuslaitoksia kansallisiksi mittanormaallilaboratorioiksi. Geodeettinen laitos nimitettiin pituuden (yksikkö, m) ja putoamiskihtiyyden (yksikkö, ms^{-2}) mittanormaallilaboratorioksi. [24; 25; 28; 30.]

Suomen Kolmannen tarkkavaaituksen (vuosina 1978–2006) latat kalibroitiin ennen ja jälkeen mittauskauden. Kalibrointiin käytettiin vaakakomparaattoria ja pystykomparaattoria sen valmistuttua. Pystyasennossa olevalla komparaattorilla aloitettiin järjestelmäkalibrointi vuonna 2002. Kalibroinnin vertailupituus saatiin laserinterferometristä. [22; 24; 25; 27.]

Geodeettisen laitoksen hajasijoitettiin Helsingin Ilmalasta Kirkkonummen Masalaan vuonna 1995. Paikalle rakennettiin uusi, erityisesti tutkimuslaitokselle suunniteltu rakennus. Rakennus on perustettu kalliolle. Laitoksen laboratoriot rakennettiin mahdollisimman liikkumattomalle alustalle. Komparaattorihuoneen alapohja rakennettiin teräsbetonilaatoista. Laatat ovat maavaraisia, jotka on eristetty kantavan laatan ja alustäytön osalta värähtelyä vaimentavalla joustavalla väliaineella irti perustuksista. Laitteperustukset on ankkuroitu peruskallioon juotetuilla harjaterästartunnoilla. Ilmalan komparaattorin runko siirrettiin uusiin tiloihin ja aloitettiin uuden pystyasentoisen lattakomparaattorin suunnittelu ja rakennustyöt. Vanhalla komparaattorilla kalibroitiin vain lattoja mutta uuden pystykomparaattorin myötä aloitettiin myös järjestelmäkalibroinnit. [6; 9; 20; 23; 24.]

3 Mittakaavapoikkeamien selvittäminen

3.1 Kalibrointien tarkoitus

Kalibroinnin tarkoituksena on varmistaa mittausten luotettavuus ja vertailukelpoisuus. Vaaituksen mittakaava (mitattavan matkan suhde todelliseen matkaan) saadaan vertaamalla mikroskoopilla mitattuja latta-asteikon ja laserinterferometrin pituuksia. Latta-asteikko on vaaituksen mittakaavan realisaatio ja pituusyksikkö on metri. Latta-asteikon pituudella realisoidaan käytössä oleva mittayksikkö. Lattakalibroinnin jäljitettävyyden tulee mittauksissa käytetyn laserinterferometrin kautta. Laserinterferometrin valolähteen taajuutta verrataan Mittatekniikan keskuksen metrin primäärinormaalien jodistabiloidun laserin (kuva 3) taajuuteen (jäljitettävyyssketju). [13; 22; 24; 28.]

Vaaituksen tarkoitus on määrittää kahden kiintopisteen välinen korkeusero. Korkeuseron tulee olla mahdollisimman tarkka ja luotettavasti mitattu. Korkeusero ja keskimääräinen painovoima kerrotaan keskenään, jotta saadaan pisteiden välinen geopotentialiero. Kiintopisteiden välinen korkeusero mitataan vaaituskojeen ja latta-asteikon avulla. Laitteiston kalibrointi on välttämätöntä, jotta mittaukset ovat keskenään yhteensopivia. Digitaalinen vaaitusjärjestelmä koostuu viivakoodilatasta sekä digitaalivaaituskojeesta. Pituusvirhe kertyy useissa toistoissa, joten vaaitusjärjestelmät kalibroidaan vuosittain mittaamalla niiden pituusvirhe lattakomparaattorilla (kahdella eri tavalla mitattu pituus, joita vertaillaan keskenään). Laatuvaatimusten mukaan tehtyjen kalibrointien myötä parannetaan tulosten mittatarkkuutta ja luotettavuutta. [18; 20; 25; 30.]

Latalla ja digitaalisella vaaituskojeella on omat mittakaavansa. Kalibroinnin mittausepävarmuus riippuu ympäristön olosuhteista ja lattaviivojen laadusta. Yksinkertaisimmissa tapauksissa lattametrin korjaus määritetään sovittamalla jakoviivojen korjauskäyrään regressiosuora, jonka kulmakerroin on keskimääräinen lattametrin korjaus. [9; 20; 23; 26; 27.]

Kalibroinnilla selvitetään vaaitusjärjestelmän mittakaava sekä mittausjärjestelmän toimivuus. Sekä koheen että latan kalibrointi yhdessä on suositeltavaa. Laserinterferometri on kalibroitilaitteiston osa, jolla mitataan latan todellinen korkeuslukema ja samanaikaisesti vaaituskoje (järjestelmäkalibrointi) tai mikroskooppi/CCD-kamera (lattakalibrointi) havaitsevat omat lukemansa. Kalibrointi on tarkan mittaustoiminnan edellytys. [9; 20; 23; 25; 26; 27.]

Latan asteikkoviivat kuvataan yhdistetyllä mikroskooppi/CCD-kameralla. Mikroskooppi ja CCD-kamera ovat integroituna yhteen, joten myöhemmin tekstissä käytetään vain CCD-kamera. Asteikkoviivojen todelliset paikat saadaan vertaamalla niitä laserinterferometrin arvoihin. [9; 20; 23; 27.]

3.1.1 Tarkkavaaituslatta

Komparaattorilla kalibroitaessa latan viivojen etäisyydet mitataan pohjalevyä lähinnä olevasta viivanreunasta. Lattakalibroinnissa oikea viivan etäisyys saadaan laserinterferometrillä. Viivavälin pituus saadaan lasketuksi, kun laserinterferometri mittaa latan siirtymää komparaattorissa ja CCD-kamera havaitsee lattaviivan paikan kameran kuvakoordinaatistossa. [9; 20; 23; 25.]

Latta-asteikot ovat tasavälijakoisia viiva- tai viivakoodiasteikkoja. Latan runko on yleensä puuta tai alumiinia. Alumiinirunkoiset latat (kuva 1) yleistyivät 1990-luvulla. Puurunkoisen, tasavälijakoisen latan asteikko on maalattu invarnauhalle. Asteikossa kukin viiva sijaitsee määrätyllä etäisyydellä latan pohjalevystä. Puisen tarkkavaaituslattan kalibroinnissa mitataan merkittyjen jakoviivojen etäisyydet latan pohjalevystä ja lattakalibroinnin tarkkuuteen vaikuttaa muun muassa jakoviivojen laatu ja latan suuruus. Latan jakoviivan korjaus antaa mittakaava- ja lämpötilakorjauksen. Alumiinilatan asteikossa kukin viiva tai viivaryhmä sijaitsee määrätyllä etäisyydellä latan pohjalevystä ja viivakoodiasteikon invarnauha on jännitetty jousella latan alumiinikehikkoon. Latta-asteikon kalibrointi suoritetaan siten, että kunkin asteikkoviivan etäisyys mitataan latan alimmasta viivasta, jonka nimellisetäisyys tiedetään. Latan jakoviivan korjaus koostuu mittakaava- ja lämpötilakorjauksesta. [23; 25; 28; 30.]

3.1.2 Digitaalinen vaaituskoje

Digitaalinen vaaituskoje (kuva 1) sisältää kompensattorin, kaukoputken ja sen optiikan, lineaarisen CCD-kennon sekä kuvankäsittely- että käyttöohjelmiston. Digitaalivaaituskoje mittaa CCD-kennolle kuvautuvan latan viivakoodisektorin ja vertaa sitä kojeen muistissa olevaan viivakoodiin tarkan paikan määrittämiseksi. Suomessa käytössä olevat Leica-, Topcon- ja Zeiss/Trimble-merkkiset viivakoodilatat ovat yleensä kolmen, kahden ja yhden metrin pituisia, alumiinirunkoisia invarnauhalla varustettuja lattoja. [20; 23; 30.]

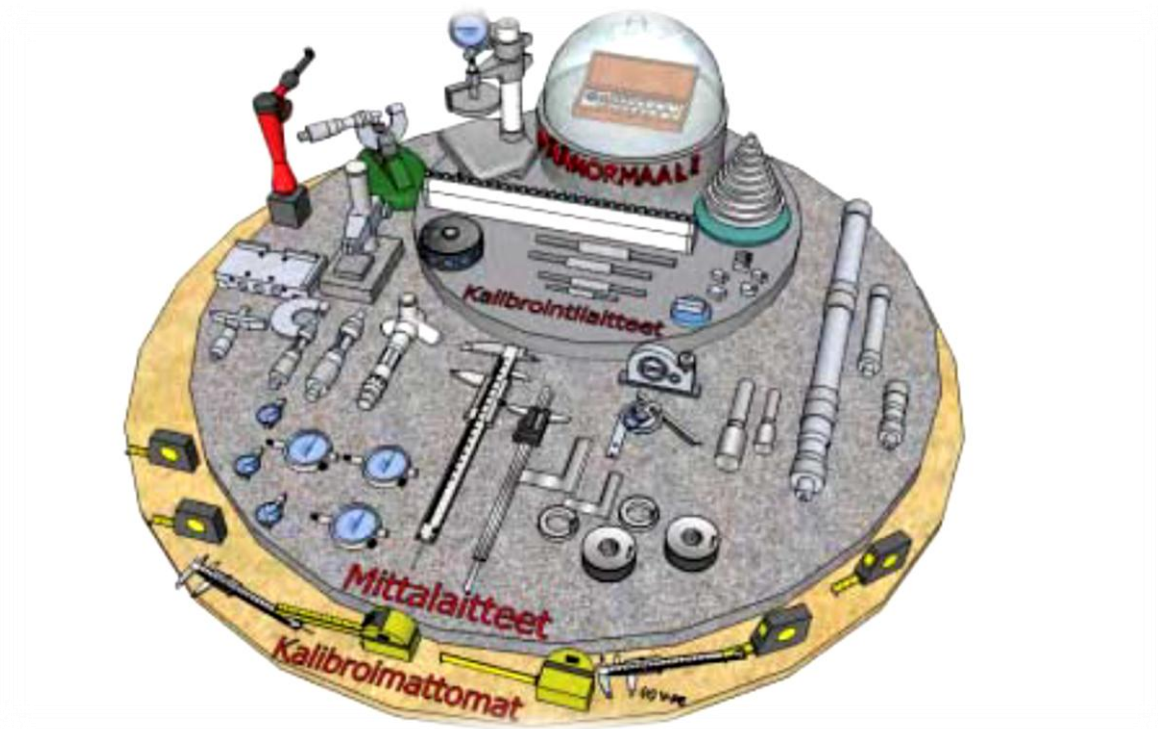
Digitaalivaaituksessa mittakaava saadaan viivakoodiasteikosta. Lattalukemaan vaikuttaa latan lisäksi myös valaistusolosuhteet ja kuvankäsittelytekniikka. Vaaituksen mittakaavan oikeellisuus on suositeltavaa tarkistaa säännöllisesti mittakaavan mahdollisten muutosten seuraamiseksi. Muutokset saattavat johtua latan kehikon ja invarnauhan välisen kompensatiomekanismin toimimattomuudesta ja erityisesti digitaalivaaituksessa CCD-kennon tai vaaituskojeen sisältämän elektronikan vanhenemisesta. Tarkkuuteen vaikuttaa myös kojeen CCD-kennon erotuskyky ja sisäisen kuvankäsittelyohjelman ominaisuudet. [9; 20; 23; 30.]



Kuva 1. Digitaalinen vaaituskoje ja viivakoodilatta muodostavat vaaitusjärjestelmän. (Kuva: H. Suurmäki)

3.2 Komparaattori

Geodeettisen laitoksen pystyasentoinen automaattinen kalibrintikomparaattori valmistui vuonna 1997. Komparaattorin pysty- ja vaaka-asentoiset puukehikot on kiinnitetty tukevasti talon seinärakenteisiin. Samankaltaisia laitteistoja löytyy muun muassa Saksasta ja Itävalasta. Laitteisto ja rakenne on itse suunniteltu ja rakennettu. Tehdasvalmisteisia komparaattoreita (kuva 2) ei ole. Komparaattorin on suunnitellut Geodeettisen laitoksen henkilökunta ja komparaattorin kehyksen rakennustöissä on ollut mukana Helsingin kaupunki. [6; 9; 20; 23.]



Kuva 2. Mittanormaallaboratorion komparaattorin kalibrintilaitteistoon kuuluvat mittanormaali, kalibrintilaitteet, mittalaitteet sekä kalibroimattomat mittalaitteet. [13]

3.2.1 Komparaattorin osat

Pystykomparaattoriin kuuluu latan kuljetin, jossa on kuusi metriä pitkä teräskisko, kaksi kuljetinvaunua, hissi ja sen vastapaino, askelmoottori, kaksitoista metriä pitkä hammashihna, CCD-kamera, mikroskooppi, laservalolähde, säteenjakaja, heijastinprisma ja automaattinen sääasema sekä kaksi, noin neljän metrin korkuista havaintopilaria. Erikoistapauksissa osia joudutaan kehittämään ja rakentamaan itse. [9; 20; 23.]

Kuljetin on komparaattorissa askelmoottorilla toimiva hissilaite, joka kuljettaa lattiaa ylös ja alas. Pituusstandardina on Hewlett Packard 5529A -merkkinen laserinterferometri. Komparaattorin lämpötilaa säädetään ilmastointikoneen kahden yksikön avulla. Ilma kiertää laboratoriossa katon ilmanvaihtoventtiilien kautta. Ilmanvaihdon nopeutta voidaan säätää käyttämällä yksiköitä 1 ja 2 yhtä aikaa tai vain toista kerrallaan. [9; 20; 23.]

Komparaattorissa käytössä olevat laitteet ovat Vaisalan QLI50-anturiliitäntäyksikkö, Vaisalan HMP 35D- kosteus- ja lämpöanturit, Vaisalan PTB 100A- analoginen barometri, kaksikanavainen Fluke54II -lämpömittari, tietokone, askelmoottorin PET-48DIOI/O-kortti, Matrox Meteor -digitaalikameran ohjauskortti, laserinterferometrin Hewlett Packard -kalibrointikortti, Hewlett Packard -laserinterferometrin kalibrointijärjestelmän 5529A kaksitaajuuksinen valolähde ja vastaanotin 5519A. [9; 20; 23.]

Kalibroinnissa käytetään vuonna 1997 kehitettyä Visual Basic -pohjaista ohjelmistoa. Vuodesta 2005 kalibroinnin hallintaan on kehitelty nykyaikaisempaa ohjelmistoa. Pilot-tiversion koekäyttö ja testaaminen ovat vielä kesken. Uusi ohjelma pyritään ottamaan käyttöön parannusten ja vertailumittausten jälkeen. Uudessa ohjelmassa kaikki tiedot syötetään yhteen käyttöliittymän ikkunaan, jotta ennen mittauksen aloitusta voidaan tarkistaa tietojen oikeellisuus. [9; 20; 23.]

3.2.2 Komparaattorin toiminta

Komparaattorin toimintoja ohjataan tietokoneohjelman avulla. Laboratoriotilan lämpötilaa voidaan muuttaa (+5 °C ... +35 °C), mikä mahdollistaa lattojen ja vaaituskojeiden lämpötilariippuvuuksien tutkimisen. [20; 23.]

Lattakalibroinnissa latta asetetaan pystyyn kuljetinkelkkaan ja varmistetaan, että asteikko näkyy hyvin tietokoneen ruudulla. Latta siirretään oikeaan aloituskohtaan. Paikkaa etsiessä on huomioitava, että kuva näkyy ruudulla ylösalaisin. Ensimmäinen mitattava viiva asetetaan kuvaruudun keskelle ja havaitaan viivan tarkka paikka, laserinterferometrin lukema sekä säähavainnot. Seuraavaksi ohjelma siirtää lattaa ja havaitsee viivan paikka- ja laserlukeman. Näiden kahden havaintoparin avulla voidaan laskea perättäisten viivojen etäisyys ja verrata sitä viivojen välimatkan nimellisarvoon (saadaan viivavälin korjaus). Jatkamalla näin koko viiva-asteikko läpi ja summaamalla korjaukset saadaan asteikon viivojen korjauskäyrä aloitusviivan suhteen. Ohje liitteessä 1. [20; 23.]

Järjestelmäkalibrointi antaa mittakaavakertoimen, joka saadaan kalibroimalla digitaali-vaaituskoje ja viivakoodilatta yhdessä. Toinen etäisyys saadaan laserinterferometrillä. Mittauksen aikana määritetään digitaalisen vaaituskojeen sen hetkisen viivakohdan lukeman sekä todellisen etäisyyden ero. Mittausperiaatteena on, että kalibroinnin aloituksessa kojeen vaakatahtäys kohdistuu niin alas viivakoodiasteikkoa kuin mahdollista eli kohtaan missä koje muodostaa vielä lukemia. Etäisyys tarkoittaa käytännössä noin kymmentä senttimetriä latan pohjasta. Kojeella havaitaan lattalukema ja samanaikaisesti laserinterferometrin lukema. Latta siirtyy noin kaksikymmentäviisi millimetriä kerrallaan askelmoottorin avulla ja sen jälkeen havaitaan uudelleen latta- ja laserlukemat ja verrataan kahden lukemaparin erotuksia (saadaan lattalukemalle korjaus). Mittaamalla koko viivakoodiasteikko läpi saadaan korjauskäyrä, johon sovitettuna regressiosuora antaa tuloksena digitaalisen vaaitusjärjestelmän mittakaavan. Ohje liitteessä 2. [9; 17; 20; 22; 23; 24; 30.]

Oikeaoppinen mittaus komparaattorilla tehdään, kun noudatetaan Abben ehtoa eli komparaattorin laserinterferometrin prisma on sijoitettu siten, että latan koodiviivasto muodostaa suoran jatkeen lasersäteeseen kanssa. [20; 23; 30.]

Järjestelmäkalibrointi ei ole yhtä tarkkaa kuin lattakalibrointi. Realistisen kuvan mittakaavavirheestä saa kun kalibroidaan sekä latta että vaaituskojeen järjestelmä yhdessä kolmessa lämpötilassa. Lattalukeman muodostamista varten vaaituskojeen CCD-kenno kuvaa viivakoodiasteikosta vaakatason ylä- ja alapuolisia viivoja, vertaa niitä kojeen muistissa olevaan viivakoodiin ja määrittää kuvattua paikkaa vastaavan korkeuslukeman. Vaaituksen mittakaavan muodostamiseen vaikuttaa CCD-kenno, kuvankäsittelyohjelmisto, kojeen optiikka ja elektroniikka. Geodeettinen laitos myy erikoisosaamistaan kalibroimalla eri yritysten ja laitosten vaaituslattoja ja -kojeita. [9; 11; 14; 16; 17; 20; 23.]

3.2.3 Laserinterferometri

Hewlett Packard 5529A -laserinterferometri on kalibrointijärjestelmän kaksitaajuuksinen laservalolähde. Laser on vaakatasossa noin yhden metrin korkeudella lattiasta vaakapenkin päällä. Lasersäteen aallonpituus riippuu lämpötilasta, ilmanpaineesta, ilman suhteellisesta kosteudesta sekä hiilidioksidipitoisuudesta. Laserinterferometrin erotuskyky on noin sata kertaa tarkempi kuin vaaituskojeen (kuva 1). Jodistabiloidulla laserilla (kuva 3) kalibroidaan laserinterferometrisissä mittauksissa käytettävien lasereiden tyhjiöaallonpituudet. Tyhjiöaallonpituus määritellään atomikelloon lukittuun optiseen taajuuskampalaitteistoon. Atomikellosta saadaan suora jäljitettävyyden metrin määritelmään. Kaupalliset laserinterferometrit on kalibroitava jäljitettävien pituusmittausten mahdollistamiseksi. [11; 12; 13; 14.]



Kuva 3. Metrin primäärinormaalilla (633 nm, jodistabiloitu HeNe-laser) kalibroidaan lasereiden tyhjiöaallonpituudet. [13]

Mittatekniikan keskuksen pituusryhmällä on palvelu, jossa laserinterferometrin eri komponentit kalibroidaan. Kalibroinnissa (kuva 4) tarkastetaan laserin tyhjiöaallonpituus, materiaali- ja ilmanlämpötilamittarit, ilmanpainemittari, ilmankosteusmittari, kulmaoptiikka, prismojen laatu, näyttämän stabiilius sekä toiminta pituusmittauksessa. Kalibroinnilla laserinterferometrin pituusmittauksen epävarmuutta ja virhettä voidaan pienentää arvosta 1 ... 2 $\mu\text{m/m}$ jopa arvoon 0,3 $\mu\text{m/m}$. [11; 12; 13; 14.]



Kuva 4. Kalibroitavan laserinterferometrin (ylin laite) näyttämää verrataan Mittatekniikakeskuksen masterinterferometriin. [14]

3.2.4 Ilmastointi ja lämpötilamittaus

Haluttu lämpötila asetetaan komparaattorihuoneen käytävän säätötaulusta. Lattakomparaattorihuoneen ilmastointikoneet käynnistetään kolmannen kerroksen LVI-tilasta. Tilassa on kompressor ja kaksi ilmastointiyksikköä, mutta yhden yksikön jäähdytys- ja lämmitysteho useimmiten riittää. Kompressorin ohjaustaulusta kone nollataan ennen käyttöä, jotta mittarilukema näyttää oikean lukeman. Latan asteikon lämpötila mitataan ennen ja jälkeen jokaisen mittauksen. Lämpötilat merkitään mittauspöytäkirjaan. [9; 20; 23.]

3.2.5 Sääarvot



Kuva 5. Vaisalan sääasema tallentaa lämpötila-, ilmanpaine- ja suhteellisen kosteuden havainnot automaattisesti. (Kuva: H. Suurmäki)

Sääarvot kerätään sääasemalla (kuva 5), jonka muodostaa Vaisalan anturiliitäntäyksikkö, Vaisalan kosteus- ja lämpötila-anturi sekä Vaisalan analoginen barometri. Hiilidioksidipitoisuutta pidetään laskennassa vakiona. Vaisalan sääasema kerää ja tallentaa lämpötila-, ilmanpaine- ja suhteellisen kosteuden havainnot automaattisesti. Sääarvojen muutokset ja tallennusongelmat näkyvät mittausten päätyttyä heti mittaustuloksissa. Puuttuvia sääarvoja voidaan joutua käsittelyvaiheessa liittämään tuloksiin muuten manuaalisesti. [9; 20; 23.]

Kaksikanavainen Fluke-lämpömittari tallentaa laboratoriohuoneen lämpötila-arvoja yhden ja yhdeksän metrin korkeudelta laboratoriohuoneen lattiatasosta. Havaintoväliksi asetetaan kymmenen minuuttia. Ala-anturin lukemia voi verrata viereen sijoitetun perusviivalämpömittarin lukemiin. Lämpötilaero yhdeksän metrin ja yhden metrin välillä yritetään pitää alle yhdessä asteessa käyttämällä ilmastointilaitetta ja siirrettäviä, lattialle sijoitettuja lämpöpuhaltimia. [9; 20; 23.]

4 Kalibrointitodistukset

Geodeettisen laitoksen kansallinen mittanormaallaboratorio antaa laissa tarkoitettuja virallisia kalibrointitodistuksia kalibroimistaan mittalaitteista. Kalibrointi on maksullista toimintaa. Hinnasto on liitteessä 4.

Kalibroinnit tapahtuvat laboratorio-oloissa eri lämpötiloissa. Lattakalibroinnin ohje löytyy liitteestä 1 ja järjestelmäkalibroinnin ohje liitteestä 2. Kalibroinnit tehdään osaksi samoilla ohjeilla. Kalibrointeja tarvitaan, jotta mittausten luotettavuus ja vertailukelpoisuus saadaan varmistettua. Kalibroinnissa määritetään mittalaitteiden näyttämän ja mittanormaanin välinen yhteys kalibrointihetkellä. Liitteessä 3 on esimerkki järjestelmäkalibroinnin laskemisesta Excel-taulukossa. Mittaustulokset ja lämpötilahavainnot syötetään taulukkoon.

Laskentataulukossa (liite 3) ylärivillä on latan numero, sille annettu tunnistenumero, vaatuskojeen numero sekä sille annettu tunnistenumero. Näiden lukujen alla lukee millä pilarilla mittausta on tehty. Tässä esimerkissä on käytetty kolmen metrin päässä olevaa pilaria. Taulukossa (liite 3) lukee mittauksen päivämäärä (kuukausi, päivä, vuosi) ja kellonaika (tunti, minuutti, sekunti). Otsikkorivin alla on järjestysnumero eli kuinka monta mittausta A-suuntaan on tehty. Lattalukema kasvaa A-suunnassa, pienenee B-suunnassa. Seuraavaksi on laserinterferometrin havaitsema laserlukema 0,0001 millimetrin tarkkuudella. Taulukkoon tulee havaittu lämpötila, ilmanpaine, ilman suhteellinen kosteus, laserin ykkös- ja kakkoslukemat sekä laserin ja vaatuskojeen havaintojen erotus. Havaintojen lisäämisen jälkeen ohjelma laskee tulokset.

Havaintojen A- ja B-mitat on koottuna liitteessä 3 sivulla 2. Taulukossa on tiedostojen nimet, kumpi suunta mitattu, lämpötila sekä korjaukset. Laskelmien lopuksi saadaan Excel-kaavio mittauksista. Kaavion alla on mittausten keskiarvo ja hajonta.

Kalibrointitodistuksessa (liite 5) näkyy mittaustulos, epävarmuus, olosuhteet, ajankohta, käytetyt laitteet, mittausselostus sekä mittausten jäljitettävyys. Kalibrointitodistus koostuu virallisesta CIPM MRA -sopimuksen mukaisesta todistuspohjasta. Liite 5 on salainen. Kalibrointituloksen mukaan mittaushavaintoja korjataan virhettä vastaavalla arvolla. Mittalaitteiden tulee olla jäljitettävissä ja ne on suositeltavaa kalibroida riittävän usein. Mittauslaitteen tarkkuus pystytään jäljittämään mitattavan suureen mittayksikön tarkkuuteen peräkkäisissä kalibroinneissa. Kalibroinneilla saavutetaan tulosten vertailukelpoisuus. [2; 3; 7; 8; 11; 13; 15; 18; 19.]

5 Päätelmiä

Geodeettinen laitos on toiminut mittanormaallilaboratoriona jo 33 vuotta. Vuosien myötä ja tuhansien toistojen jälkeen mittakaavat olisivat aivan muuta kuin todellisuus, jos kalibrointeja ei olisi tehty. Tarkkavaaituslatoille ja digitaalisille vaaituskojeille olisi hyvä tehdä kalibrinti kerran vuodessa, jotta tarkka mittakaava pysyisi mittauksissa mukana.

Latta- ja järjestelmäkalibroinneissa jäljitettävyyks tulee laserinterferometrin kautta. Mittakaavan oikeellisuus saadaan vertaamalla mitta-asteikon pituutta mittayksikön pituuteen. Suurissa korkeuseroissa mittakaavan virheen vaikutus kasvaa. Vaaituksen mittakaavan realisaatio on latta-asteikon pituus. Mittakaavan toimintaperiaate on, että jokainen viiva sijaitsee määrättyllä nimellisetäisyydellä latan pohjalevystä tai asteikon lähtökohdasta. Latta-asteikko kalibroidaan niin, että mitattua asteikkoviivan etäisyyttä latan pohjalevystä verrataan pituusstandardiin. Latan jakoviivan korjauksesta saadaan mittakaavan ja lämpötilan korjaukset.

Pituuden mittanormaallilaboratorion kalibrintitoiminta on jäljitettävissä latoista ja vaaituskojeista laserinterferometriin, laserinterferometri on jäljitettävissä primäärinormaalien jodistabiloituun laseriin, jodistabiloitu laser on jäljitettävissä lasereiden tyhjiöaallonpituuksiin, tyhjiöaallonpituus määritellään atomikelloon lukittuun optiseen taajuuskameralaitteistoon ja atomikello on jäljitettävissä metrin määritelmään. Parhaimmat atomikellot ovat metrologisia primäärinormaaleja. Atomikellot ovat tarkkoja, niihin vaikuttavat vain lämpösäteily ja magneettikentät. Mittanormaalityö siirtää tarkan mittayksikön muihin mittavälineisiin.

Lattakalibroinnin tarkkuuteen vaikuttaa muun muassa jakoviivojen laatu ja latan suoruus ja järjestelmäkalibroinnissa vaaituskojeen ja latan ominaisuudet, erotuskyky tärkeimpänä.

Mittausepävarmuus laserinterferometrillä on ± 20 nm, pystyasentoisessa lattakomparaattorissa mittakaavan oikeellisuus voidaan tarkistaa tarkkuudella ± 1 ppm ja järjestelmäkalibroinnissa tarkkuudella $\pm 3 \dots 5$ ppm. [7; 9; 20; 23; 30.]

Lähteet

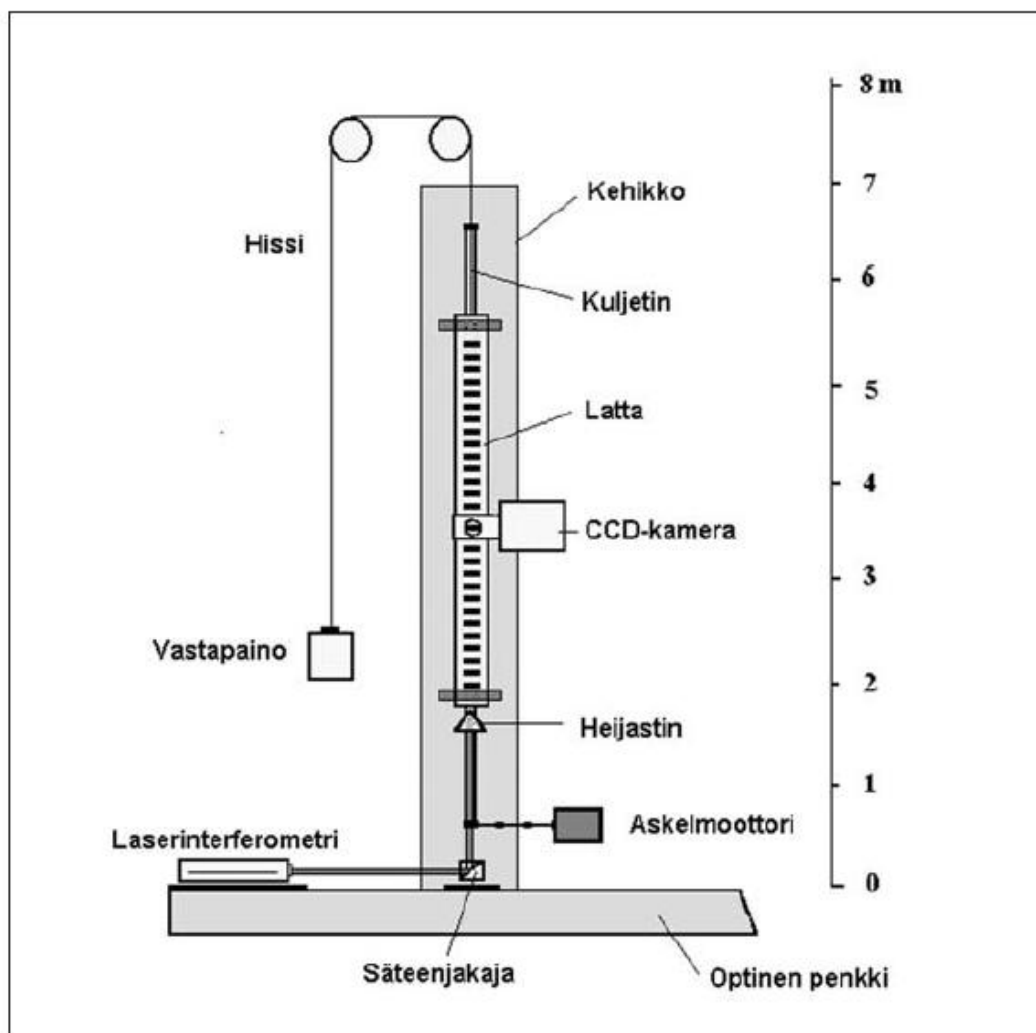
- 1 EURAMET. 2010. Absolute long distance measurement in air, JRP3.1-TP3 "Length" T3.J3.1, poster.
- 2 Finlex: Laki Geodeettisesta laitoksesta, 16.6.2000/581.
- 3 Finlex: Valtioneuvoston asetus Geodeettisesta laitoksesta, 13.7.2000/697.
- 4 Finlex: Laki vaatimustenmukaisuuden arviointipalvelujen pätevyyden toteamisesta, 2005/920.
- 5 Geodeettinen laitos. Verkkodokumentti. <www.fgi.fi/index.php> Päivitetty 4.2.2010. Luettu 10.6.2011.
- 6 Geodeettinen laitos. 1996. Pr72-projektilehti, Geodeettisen laitoksen toimitalo. Esite.
- 7 Geodeettinen laitos, asiantuntijapalvelut. Verkkodokumentti. < www.fgi.fi/asiantuntijapalvelut/kml.php > Päivitetty 4.2.2010. Luettu 15.6.2011.
- 8 Järvinen Jaana, Eerola Susanna, Kaukonen Milla. 2008. Metrologiasta lyhyesti. Esite. MIKES. Espoo, Multiprint.
- 9 Kovanen Janne. 2005. Geodeettisen laitoksen latta- ja järjestelmäkalkibroinnin käyttöliittymän suunnittelu ja toteutus. Moniste. Erikoistyö Maa-6.290. Espoo, TKK.
- 10 Lehtonen Pekka. 2006. Geodeettinen laitos vaalii kansallista tarkkuutta, Maan- käyttö 3/2006, s. 6-12. Porvoo, Uusimaa Oy.
- 11 MIKES. 2006. Metrologia J7/2006, kansallinen mittanormaalitoiminta ja sen kehittäminen. Moniste. Espoo, MIKES.
- 12 MIKES: Metrologia, pituusryhmä. Verkkodokumentti. < www.mikes.fi/frameset.aspx?url=metrologia.aspx%3fcategoryID=3 > Päivitetty 15.2.2011. Luettu 24.5.2011.
- 13 MIKES: Metrologia, kalibrointiesitteet. Verkkodokumentti. < www.metrologia.fi/documents/upload/kalibrointiesitteet_11042011_www.pdf > Luettu 24.5.2011.
- 14 MIKES: Metrologia, Suomen mittanormaalit. Verkkodokumentti. < www.mikes.fi/frameset.aspx?url=metrologia.aspx%3fcategoryID=3 > Päivitetty 15.2.2011. Luettu 24.5.2011.
- 15 MIKES: Palvelut, kalibrointipalvelut, pituus. Verkkodokumentti. < www.mikes.fi/frameset.aspx?url=metrologia.aspx%3fcategoryID=3 > Päivitetty 1.7.2008. Luettu 24.5.2011.

- 16 MIKES: Pituus metrologiassa, Geodeettinen laitos. Verkkodokumentti.
< www.mikes.fi/documents/upload/pituus_geodesiassa.pdf > Päivitetty 4.8.2010.
Luettu 30.5.2011.
- 17 MIKES. 2010. TOPFive, metrology. Lehti. Espoo, MIKES.
- 18 Nurmi-Rättö Irja, Lassila Antti. 2010. Suomen pituusmetrologia Euroopan huipputasoa. Tiimalasi 1/2010. Espoo, MIKES.
- 19 Nurmi-Rättö Irja. 2010. Metrologia nopeuttaa innovaatioita. Tiimalasi 1/2010. Espoo, MIKES.
- 20 Rouhiainen Paavo. 2009. Lattakalibroinnin toimintaohjeet. Moniste. Kirkkonummi, GL.
- 21 Suomen tie- ja vesirakennusten ylläpito. 1910. Suomen Tarkkavaakitus 1892–1910, s. 3-15. Helsinki, Keisarikunnan Senaatin kirjapaino.
- 22 Takalo Mikko. 1997. Automated Calibration of Precise Levelling Rods in Finland, 97:3. FGI. Helsinki, Edita.
- 23 Takalo Mikko. 2004. Geodeettisen laitoksen systeemikalibrointikomparaattorin käyttöohje. Moniste. Kirkkonummi, GL.
- 24 Takalo Mikko. 1985. Horizontal - Vertical Laser Rod Comparator. 85:2, FGI. Helsinki, Valtion Painatuskeskus.
- 25 Takalo Mikko. 1988. Invarlatan pituuteen vaikuttavista tekijöistä. Opinnäytetyö. Moniste.
- 26 Takalo Mikko. 1975. Laser lattakomparaattori. Maanmittaus 1971–75, s. 74–83. Kirja. Helsinki, Valtion Painatuskeskus.
- 27 Takalo Mikko. 1980. Tarkkavaakituslattojen kalibroinnista. Maanmittaus 1979–80, s. 85–90. Kirja. Salo, SASA-paino.
- 28 Takalo Mikko. 1978. Measuring Method for the Third Levelling of Finland. 78:3, FGI. Helsinki, Valtion Painatuskeskus.
- 29 Takalo Mikko. 1974. The Laser Rod Comparator. 74:5, FGI. Helsinki, Valtion Painatuskeskus.

- 30 Takalo Mikko. 2004. Vaaituksen mittakaavasta. Maanmittaus 79:1-2. Moniste.
- 31 Teknillinen tarkastuskeskus. 1987. Metrijärjestelmä Suomessa sata vuotta, 1887–1987. TTK 1-1987. Helsinki, Valtion Painatuskeskus.

Liite 1. Lattakalibroinnin mittausohje

Lattakalibroinnilla määritetään tietokoneohjelman avulla lattojen mittakaava- sekä lämpölaajenemiskerroin ja manuaalisesti latta-asteikon suhteellinen nollapiste (latan asteikon ja pohjalevyn mittaero). Vaaituksen mittakaavan oikeellisuuden tarkistus (latta-asteikon kalibrointi) suoritetaan lattakomparaattorilla (kuva a), jossa latta-asteikon pituutta verrataan laserinterferometrin antamaan pituuteen. [20; 23; 25.]



Kuva a. Pystykomparaattorilla tehtävän lattakalibroinnin kaaviokuva. [30]

Lattakalibroinnissa mitataan latan viivakoodin viivojen reunojen paikat. Viivakoodias-
teikon tarkka sijainti määritetään etsimällä kuvaruudulta käsiteltävän viivan reuna ja
viivan sijainniksi määritetään viivareunojen puoliväli. Saatuun lukemaan yhdistetään
laserinterferometrin antama korjattu lukema ja näin saadaan viivan oikea etäisyys
aloitusviivasta eli referenssikohdasta. Kalibroinnin tuloksena saatuihin viivojen mitatun
ja oikean arvon erotuksiin sovitetaan mittausten jälkeen regressiosuora, jonka kulma-
kerroin kuvaa mittakaavavirhettä. Lattakalibroinnin korjauskäyrää kuvataan suoralla.
[9; 20; 22; 23.]

1. Ilmastointi

Haluttu mittaustilan lämpötila asetetaan komparaattorihuoneen käytävän säätötaulun
ohjauslaitteen avulla. Kalibroinneissa käytetyt lämpötilat ovat noin +8 °C, +19 °C ja
+30 °C. [20; 23.]

Kalibrintitila on lämpöeristetty ja haluttu lämpötila saavutetaan muutamassa tunnissa.
Lattakomparaattorihuoneen ilmastointikone käynnistetään kolmannen kerroksen LVI-
tilasta, mistä glykolipumppu käännetään ensin päälle. Tilassa on kaksi kompressoria ja
ilmastointikoneyksikköä, mutta yhden yksikön jäähdytys- ja lämmitystehot ovat
useimmiten riittävät. Kahden kompressorin ohjaustaulusta varmistetaan, että ilmas-
tointiaineen lämpötila on riittävän alhainen. Mikäli kompressorit eivät käynnisty, niin
ohjaustaulusta painetaan "Reset"-painiketta. [20; 23.]

2. Laserinterferometri

Laserinterferometriin laitetaan virta päälle. Laserinterferometrin (kuva b) pitää lämmetä
noin puoli tuntia ennen mittausten aloitusta. Mittaustilassa laitetaan tarvittavat valot
päälle. Pääkytkimestä saadaan virta tietokoneeseen, askelmoottoriin sekä sääasemaan.
[20; 23.]



Kuva b. Laserinterferometri on kalibrointijärjestelmän kaksitaajuuksinen laservalolähde. (Kuva H. Suurmäki)

3. Vastapaino ja säätöruuvi

Varmistetaan, että lattojen vastapaino on telineessä ja askelmoottorin lukitusruuvi on irti, ettei vastapaino ruuvien irrotuksen jälkeen putoa laserinterferometrin tai alaheijastimen päälle. [20; 23.]

4. Alkutyöt

Kalibrointi aloitetaan siirtämällä kaikki kalibroittavat tarkkavaaituslatat ja vaaituskojeet työskentelytasolle (kuva c), toiseen kerrokseen. Kalibroittavat latat laitetaan varovasti pystyyn seinää vasten mittausjärjestykseen. Geodeettisen laitoksen ulkopuoliset latat ja kojeet saapuvat omissa kuljetuslaatikoissaan. Kuljetuslaatikoiden kunto tarkistetaan mahdollisten kuljetusvaurioiden takia ja laatikoihin merkitään minkä lattaparin laatikko on kyseessä. Lattojen asteikot pyyhitään tarvittaessa miedolla saippuavedellä. [20; 23.]



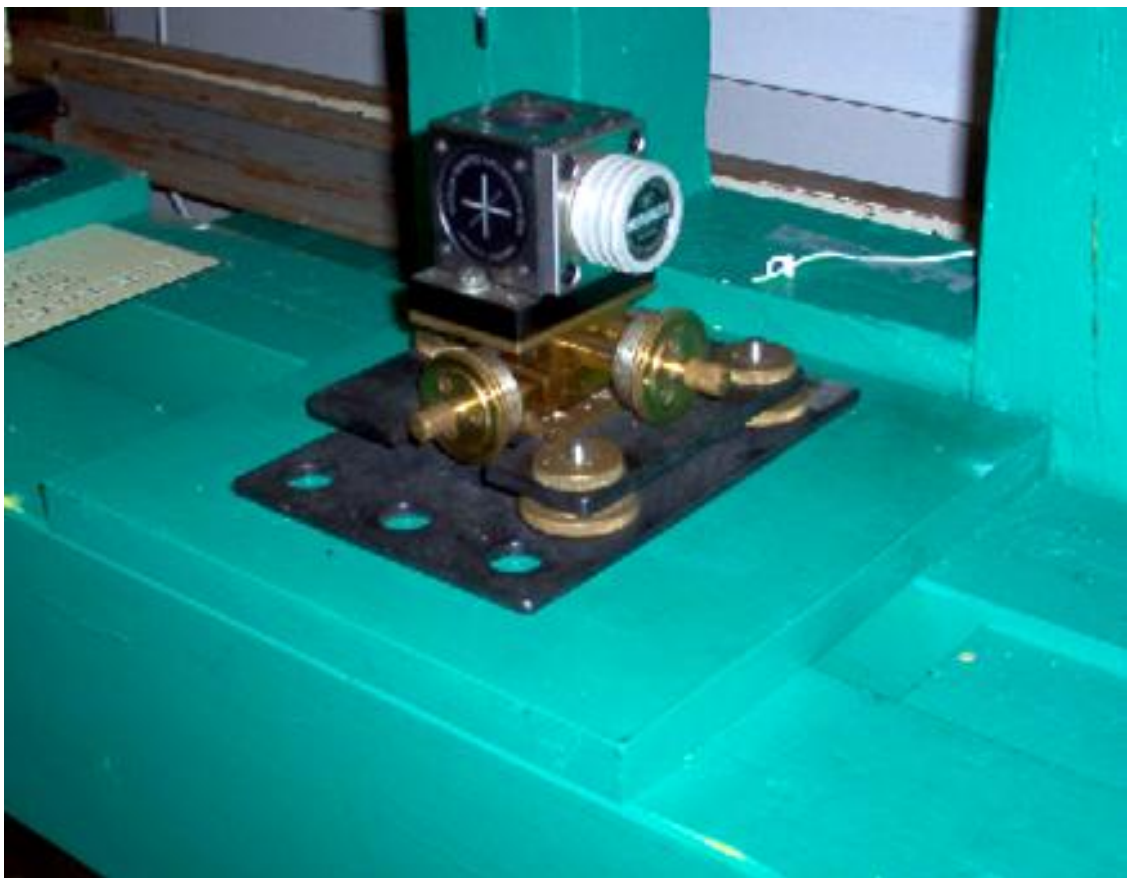
Kuva c. Kalibrointitilan toisen kerroksen työskentelytaso. (Kuva H. Suurmäki)

5. Laserin suuntaus

Lattakalibrointi aloitetaan varmistamalla laserinterferometrin (kuva b) oikea suuntaus. Laserin säteenvallinnasta valitaan pieni ulostuloaukko ja säde kohdistetaan mittaustilan päätyseinään, johon on merkitty vaakapenkin suuntainen tähysmerkki. Edessä oleva alaheijastin voidaan siirtää pois edestä suuntauksen ajaksi. [20; 23; 24.]

6. Alaheijastimen säätö

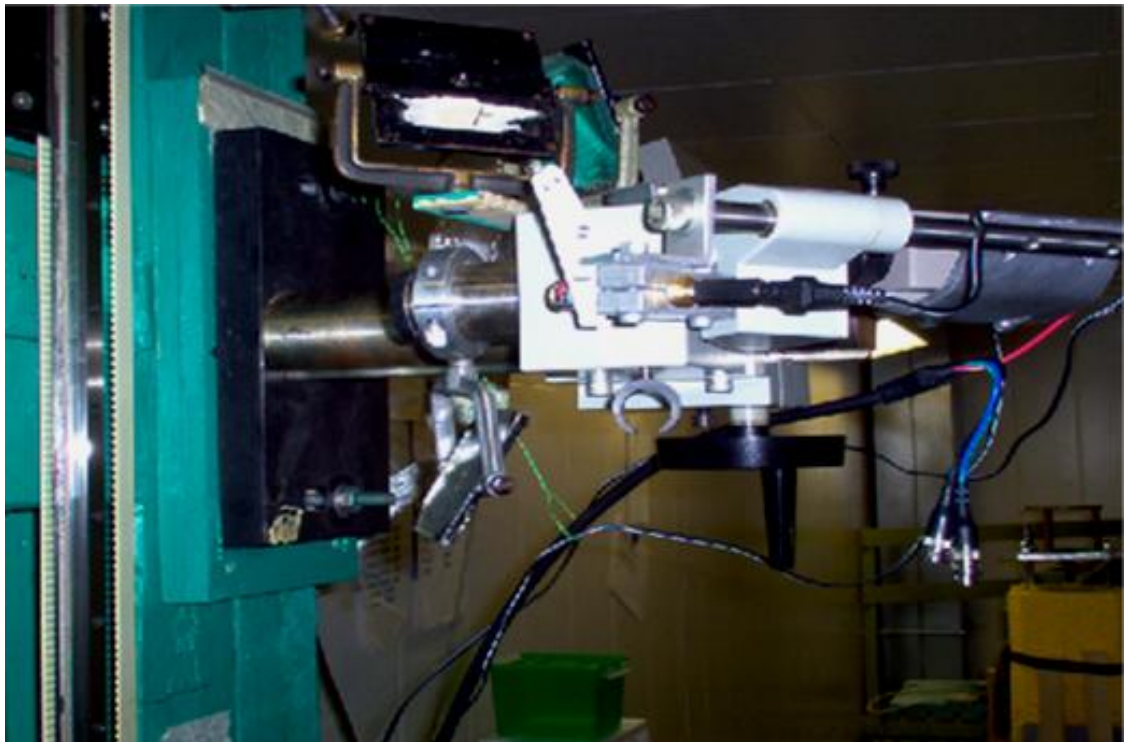
Vaakapenkillä oleva alaheijastin (kuva d) kääntää laserin säteen 90 asteen kulmassa latan alaosaan. Osuva säde pitää olla suorana jatkeena latalle. Vaakapenkin alaheijastinta voidaan säätää oikeaan paikkaan siirtoruuvien avulla. Alaheijastin liikkuu vaakatason suunnassa ja ylös- tai alaspäin alustalla. [20; 22; 23.]



Kuva d. Vaakapenkillä olevat alaheijastin ja säätöruuvit. (Kuva: H. Suurmäki)

7. CCD-kamera

CCD-kamera (kuva e) nostetaan komparaattorin puukehikon pystyrungon asennuslevyyn kiinni. Asennuslevy sijaitsee toisen kerroksen kohdalla noin 1,5 metrin korkeudella kävelytasosta. CCD-kamera painaa lähes kaksikymmentä kiloa, joten nostovaiheessa on hyvä olla apuhenkilö mukana. Komparaattorin puukehikosta painetaan asennuspultit esiin. Ylempi pultti kiinnitetään ensin, jotta saadaan CCD-kamera pysymään ylhäällä tukevasti. Työvälineet tulee pitää riittävän lähellä. Komparaattorissa on merkkiviivat likimääräistä asennusta varten. Pultit kiristetään kiintoavaimella tiukasti. Virta- ja videojohdot kytketään kameraan kiinni. Videokytkeä on punainen ja sähkövirta on musta johto. Kolmas johto kytkee virran laserosoittimeen. [20; 23.]



Kuva e. CCD-kamera kiinnitettynä pystykomparaattoriin. (Kuva: H. Suurmäki)

8. Latta

Aloittava latta asetetaan pöydälle ensimmäisenä. Latta puhdistetaan tarvittaessa varovasti ennen kalibrointia. Latan ylä- ja alaosaan, mitta-asteikon keskelle, merkitään apupiste, jota tarvitaan latan kohdistamisessa kuvaruudun keskelle. [20; 23.]

9. Ripustusnaru

Latan ympärille pujotetaan päätylevyillä varustettu ripustusnaru, jolloin lattaa voidaan nostaa ripustusnarun avulla. Teline pitää latan tukevasti pystyasennossa koko kalibroinnin ajan ja latan koko paino kohdistuu pohjalevyä vasten asetettuun päätylevyyn. Puinen jatkokappale ruuvataan yhden ja kahden metrin latoille, jotta ripustusteline voidaan laittaa latan ympärille. Puinen jatkokappale kiinnitetään latan yläosaan pulteilla. Ripustusnaru säilytetään apupöydän lähellä oikein päin, jotta lattojen asentaminen olisi helppoa ja nopeaa. Latan alaosaan tulee suorapohjainen, aukollinen levy ja yläpäähän tulee levy, jossa on ripustuskoukku valmiina. Ripustusnarut halutaan saada mahdollisimman liikkumattomiksi, joten väliin laitetaan pehmustelevyt. Latta tulee saada mahdollisimman tukevaksi kestäämään useamman tunnin kalibrointi. [20; 22; 23; 30.]

10. Latan asentaminen komparaattoriin

Latan nostamisessa komparaattoriin pitää olla erityisen varovainen, koska nostotila on pieni ja ahdas pitkille latoille. Latta asennetaan kiskon ripustuskoukkuun (kuva f) seinää vasten, mitta-asteikko CCD-kameraan päin. [20; 23.]



Kuva f. Latta asetetaan avonaiseen ripustuskoukkuun ja yläosan kiristysruuvit kiristetään lattan ympärille. (Kuva: P. Rouhiainen)

Ripustuskoukkuja on kaksi, joista valitaan avoin koukku lattakalibrointiin. Latta on tässä vaiheessa koukussa kiinni, liikkumattomuus varmistetaan kiristämällä yläpään ruuvit samanaikaisesti kiinni. Ruuvien ja lattan väliin asetetaan ohuet kumisuojat, jotta lattaan ei tulisi vaurioita. Ruuvit sijaitsevat lattan vasemmalla ja oikealla puolella. Kun latta on saatu asetettua keskelle, vain oikean puoleista ruuvia liikutetaan. Toisella kädellä pidetään suojakumeja, puupalikoita ja lattaa paikoillaan. Lattan alaosa asennetaan samalla tavalla kiinni ruuveilla. [20; 23.]

11. Tietokoneen avaus

Mittaus aloitetaan avaamalla tietokoneesta "Mikko3"-ohjelma. Tietokoneen ruudulta nähdään latan asteikko suurennettuna. Latan asentoa muutetaan säätöruuvien avulla. [20; 23.]

12. Vastapaino

Kävelytasanteella latan vastapaino nostetaan pois sen säilytyslaatikosta, jotta lattaa voidaan liikuttaa. Vastapaino on lyijystä valettu putkimainen kappale. Painoja voidaan lisätä tarpeen mukaan. Vastapainon riittävyys varmistetaan laserinterferometrin lukemasta. Latta vedetään kuljettimen puoleen väliin, tietokoneesta katsotaan paluusäteen voimakkuus "HP Laser Metrology" -ohjelmalla kohdasta "Linear". Vastapaino on sopiva, kun laserin lukema pysyy lähes muuttumattomana. [20; 23.]

13. Latan suoristaminen

Latan asentoa voidaan siirtää sivuttain tai syvyysuunnassa. Kohdistuspisteen saamiseksi kuvan keskelle, siirretään säätöruuvien avulla lattaa sivusuunnassa. Säätöruuveja on siirrettävä latan kummaltakin puolelta tasaisesti, jotta kumilevyt eivät putoa. Kun latta on asetettu edellä kuvatulla tavalla, seurataan säteen kulkua siirtämällä lattaa alaja yläasennon välillä. Laserin jalustan, säteenjakajan ja prisman suoruus varmistetaan vesivaa'alla. Säätöruuveilla voidaan korjata vaakapenkillä olevan säteenjakaja-prisman asentoa ja paikkaa. Lasersäteen tulee osua latan pohjassa olevaan pisteeseen. Suuntauksen poikkeaman tulisi olla vähemmän kuin yksi millimetri, kun latta on yläasennossa. Suuntauksen onnistumista voidaan seurata laserinterferometrin "Beam Stronght" -arvon perusteella. Prosenttiarvon pitää olla yli 90. [20; 23.]

Syvyysuuntainen hienosäätö latalle tehdään isojen säätökiekkojen avulla. Kiekkoja on ylhäällä yksi kappale ja alhaalla kaksi. Kumpaakin säätökiekkoa liikutetaan samaan suuntaan, yhtä aikaa. Yksi kierros vastaa yhden millimetrin siirtymää. Kuvaruudulta varmistetaan kuvan terävyys viivojen reunakohdassa. CCD-kameran kuvasta varmistetaan tarkkuus. Pisteen saamiseksi kuvan keskelle siirretään säätöruuvien avulla lattaa sivusuunnassa. Säätöruuveja on siirrettävä latan kummaltakin puolelta tasaisesti. Apuviivan pitää näkyä kuvaruudun keskellä, jolloin tiedetään, että mittaus tapahtuu koodiviivan keskikohdasta. [20; 23.]

14. Mittauksen aloitus

"Mikko3"-ohjelmasta avautuneesta ikkunasta valitaan nuoli-kuvake, painetaan "Start". Valitaan "Latta" ja painetaan "Alas". Kuvaruudulle avautuu seuraavaksi omat ikkunat jokaiseen kysymykseen. Ensimmäiseksi ohjelma kysyy, kenen latoista on kysymys (esimerkiksi FGI). Seuraavassa ikkunassa kysytään latan tyyppiä eli merkkiä (esimerkiksi Zeiss), latan numeroa (esimerkiksi 13926), latan tunnusta (esimerkiksi A) sekä mittauksen tyyppiä (C, I tai T). Automaattisessa viivaviivalta kalibroinnissa valitaan C, manuaalisessa mittauksessa valitaan I tai T. Reunaviivan tyyppi on joko 0=musta/valkoinen tai 1=valkoinen/musta. Hyväksytään 0 painamalla "Ok". Seuraavaan kysymykseen, "Jatketaanko" ei saa vielä vastata. [20; 23.]

15. Kuvan terävyys

Kuvaruutuun halutaan CCD-kameran kuva koodilatan viivasta. Kuva ei tule automaattisesti, vaan se täytyy hakea näytön alareunassa näkyvää "MilImage"-kuvaketta painamalla. Kuvasta näkyy keskikohdan apupisteen sijainti sekä viivan kuvan terävyys. Latatkalibroinnissa etsitään viivojen tarkkoja sijainteja, minkä takia viivan pitää olla kuvassa mahdollisimman terävä. Kuva jätetään kuvaruudulle näkyviin koko mittauksen ajaksi. [20; 23.]

Kuvaruudulta nähdään jos CCD-kameran paikkaa täytyy säätää. CCD-kamerassa on veivi, jota liikuttamalla etäisyyttä latasta voidaan muuttaa. [20; 23.]

16. Latan asennon korjaus

Syvyysasuuntainen hienosäätö latalle tehdään isojen säätökiekkojen avulla. Kiekkoja on ylhäällä yksi kappale ja alhaalla kaksi. Kumpaakin säätökiekkoa liikutetaan samaan suuntaan, yhtä aikaa. Yksi kierros vastaa yhden millimetrin siirtymää. Kuvaruudulta varmistetaan kuvan terävyys viivojen reunakohdassa. CCD-kameran kuvasta varmistetaan tarkkuus. Pisteen saamiseksi kuvan keskelle siirretään säätöruuvien avulla lattaa sivusuunnassa. Säätöruuveja on siirrettävä latan kummaltakin puolelta tasaisesti. Apuviivan pitää näkyä kuvaruudun keskellä, jolloin tiedetään, että mittaus tapahtuu koodiviivan keskikohdasta. [20; 23.]

17. Lämpömittari

Mittaustilassa on kaksikanavainen Fluke-lämpömittari (kuva g), joka mittaa lämpötiloja yhden ja yhdeksän metrin korkeudelta. Lämpömittarilla valvotaan lämpötilaeroja pystykuilussa. Lämpötila-arvot tallentuvat lämpömittarin muistiin. Lämpömittari tallentaa lämpötilat kymmenen minuutin välein. [20; 23.]



Kuva g. Fluke-lämpömittarilla mitataan lämpötiloja yhden ja yhdeksän metrin korkeudelta. (Kuva: H. Suurmäki)

18. Tallennus

Ohjelmaan on asetettu tallennuspolku. Tietojen löytymisen helpottamiseksi, tehdään nimetyt hakemistopolut kaikille mittaustuloksille. Tiedostot tehdään ”Järjestelmähallinnassa”, esimerkiksi Viro\14523\cal\res (maa esimerkiksi Viro, latta esimerkiksi 14523, kalibrointi cal, kalibrointilukemat data, nollapiste-ero ja intervallimittaus res). Tiedostojen löytäminen ja käsittely on siten helpompaa. [20; 23.]

19. Rasiatasain

Lattojen rasiatasaimet tarkistetaan ja säädetään pystykomparaattorissa, kun latta on asetettu pystysuoraan. Rasiatasaimia säädetään pienellä kuusiokoloavaimella. [20; 23.]

20. Pohjalevyn prisman asennus

Latan pohjalevyyn kiinnitetään prisma (kuva h), joka heijastaa säteen alaheijastimen kautta takaisin laserinterferometriin. Prisma kiinnitetään magneetilla latan pohjaan koodiasteikon jatkeeksi. Prisman magneettia varten ripustustelineen pohjalevyssä on aukko. Aukon sisällä prisman asentoa voidaan muuttaa, jotta se saadaan latan keskelle. Ripustustelineen pohjalevyä voidaan tarpeen vaatiessa hieman siirtää, jotta prisma saadaan oikeaan paikkaan. [20; 23.]



Kuva h. Prisma kiinnitetään latan pohjaan. (Kuva: H. Suurmäki)

21. Laserin säteen suoruus

Latan ripustustelineen pohjalevyyn on merkitty apupiste, suoraan koodiviivaston suuntaisesti vajaan kymmenen millin päähän reunasta. Laserinterferometrillä valitaan pienin sädekimppu, joka näkyy parhaiten latan pohjalevystä. Lasersäde määritetään apupisteen avulla suoraksi. Jos säde ei osu apupisteeseen, niin säätöön käytetään vaakapenkillä olevan alaheijastimen säätöruuveja. Kolmella alustan ruuvilla voidaan alaheijastimen asentoa muuttaa. Latta siirretään yläasentoon ja varmistetaan, että säde pysyy paikoillaan ja tehdään tarvittavat säädöt alaheijastimen ruuveilla. Latta vedetään takaisin ala-asentoon ja tarkistetaan, että lasersäteen piste on pysynyt paikoillaan. Säätöruuveilla voidaan korjata vaakapenkillä olevan säteenjakaja-prisman paikkaa. Lasersäteen tulee osua pisteeseen. Suuntauksen poikkeaman tulisi olla vähemmän kuin yksi millimetri, kun latta on yläasennossa. [20; 23.]

22. Indeksiviivalevy

Latan pohjaan kiinnitetyssä prismassa on kiinni muovinen indeksiviivalevy, joka asetetaan suoraan latan asteikon jatkeeksi. Indeksiviivalevyn pitää näkyä kuvaruudulla terävänä. Kuvien terävyyksien varmistuttua voidaan latta nostaa ylös. Tässä vaiheessa havaitut pienet säätöpoikkeamat korjataan siirtämällä latan pohjassa olevaa prismaa. Hyvän intensiteetin varmistamiseksi katsotaan paluusäteen voimakkuus "HP Laser Metrology" -ohjelmalla kohdasta "Linear". Ohjelmasta näkyy laserin etäisyys- ja intensiteettilukemat (yli 90 %). Lattaa siirretään hitaasti ylös ja alas, jotta ohjelma käy läpi koko latan pituuden lukemat. Jos lukemat eivät ole riittävän hyviä, joudutaan tekemään säädöt uudelleen. [20; 23.]

23. Kameran valaistus

Ennen mittausta varmistetaan riittävä valaistus CCD-kameraa varten. Lamppuja voidaan siirtää oikeaan kohtaan ja mikroskoopissa olevilla kolmella peilillä saadaan heijastettua lisävaloa viivakoodiin. Peileistä kaksi sijaitsee mikroskooppiputken päällä ja yksi on putken alapuolella. [20; 23.]

24. Askelmoottorin lukitus

Askelmoottorin lukitusruuvi käännetään ruuvimeisselillä, ruuville tehtyyn koloon kiinni. Kolon etsimisen helpottamiseksi akseliin on tehty merkki. Ruuvi ei liiku kun kolo on löytynyt. Ruuvi kiristetään tiukasti kiinni. [20; 23.]

25. Latan aloitusviiva

Ohjelmaan on syötetty tiedot siitä, mistä aloitusviivasta erimerkkisten lattojen mittaukset tulee aloittaa (esimerkiksi Zeiss, aloitusviivan reuna, 40 millimetrin päässä latan pohjalevystä). Lattaa nostamalla tai laskemalla etsitään oikea aloituskohta. Jos askelmoottorin lukitusruuvi on paikoillaan, siirtäminen on raskasta. Tarkkavaaituslatan vasemmalle puolelle kiinnitetään pala maalarinteippiä, johon tehdään koodiviivaston viereen apupiste aloituskohdan tasolle. Mikroskoopista käännetään apulaserpiste näkyviin. Aloituspaikan löydyttyä apulaserpiste sammutetaan. [20; 23; 30.]

Ohjelmasta voidaan valita oikeat viivavälitiedot ja latan pituustiedot. Jokaisella lattatyypillä on erilainen viivareunan etäisyys. Ohjelmasta avataan "Valimatkat"-ikkuna, jos halutaan muuttaa aloitusviivan ja reunaviivan lukumäärää. [20; 23; 30.]

26. Mittauspäiväkirja

Mittauksesta pidetään mittauspäiväkirjaa, johon merkitään mittausten aluksi ja lopuksi tehdyt asetukset, päivämäärä, kellonaika, kenen lattoja mitataan, latan numero, tunnus, lämpötilat sekä tiedoston nimi. [20; 23.]

27. Mittauksen käynnistäminen

Mittaus alkaa kun vastataan kysymykseen ”Jatketaanko”. Painetaan ”Ok”. Latta alkaa liikkua ja näyttöruudusta nähdään, että mittaus käynnistyi. Täytetään päiväkirja ja merkitään sääaseman ilmoittama lämpötila, Fluke-lämpömittarin T1- ja T2-arvot sekä mitataan latan invarnauhan lämpötila infrapunamittarilla. Mittaukset ovat herkkiä tärinöille, joten mittausten aikana komparaattoritilassa ei saa turhaan kulkea. Mittausohjelman näyttö käännetään komparaattorin eteistilaan, jossa seurataan mittauksen kulkua. Jokaiselle kalibroitavalle latalle tehdään yksi edestakainen viiva-viivalta mittaus kolmessa eri lämpötilassa. Kolmen metrin latan mittaus kestää noin kaksi tuntia. [20; 23.]

28. Manuaalimittaus

Manuaalimittauksia tehdään latan aloitus- ja lopetusviivan väleille. Manuaalimittaus tehdään askelmoottorin poiskytkennän jälkeen. Askelmoottori kytketään irti akseliruuvi irrottamalla. Mittaukset aloitetaan samoilla esitietojen täyttämisläppäimillä kuin automaattimittauksessa. Manuaalimittauksen tarkoituksena on saada koko mittausvälille mahdollisimman tarkka arvo, jota voidaan käyttää automaattimittausten viiva-viivalta havaintojen tasoittamiseen. [20; 23.]

Mittauksen aloitus:

Mittauksen tyypiksi laitetaan "T". Manuaalimittaus aloitetaan latan alaosasta. Seuraavaksi ohjelma kysyy viivan reunan tyyppejä, musta/ valkoinen = 0 tai valkoinen/musta = 1. Manuaalimittauksia erotuksen selvittämiseksi tehdään kolme edestakaista mittausta. Mittaus päättyy automaattisesti. [20; 23.]

Nollapiste-eromittaus:

Manuaalimittauksen ohjeilla tehdään myös nollapiste-eromittaus. Nollapiste-eromittauksella mitataan latan suhteellinen nollapiste. Mittaus aloitetaan latan aloitusviivasta, latan alapäästä, toinen mitattava viiva on prismassa oleva indeksiviiva. [20; 23.]

Intervallimittaus:

Intervallimittauksella määritetään lämpölaajenemiskerroin. Mittauksessa selvitetään viivaston ääripäiden välinen etäisyys kolmessa eri lämpötilassa. Komparaattorihuoneen ilmastoinnilla voidaan säätää lämpötilat plus viidestä celsiusasteesta, plus kolmeen kymmeneenviiteen celsius-asteeseen. Intervallimittauksessa käytetään samoja tietoja kuin automaattimittauksessa paitsi mittaustyyppi on "T" ja mittaus aloitetaan reunatyyppi nollasta (musta/valkoinen) ja seuraava reunatyyppi on yksi (valkoinen/ musta). Mittaukset tehdään liikuttamalla lattia hissilaitteessa edestakaisin. Lattiaa pitää liikuttaa hitaasti (alle 0,4 m/s), jotta laserinterferometri pysyy liikkeen mukana. [20; 23.]

29. Mittauksen päätyminen

Mittauksen päätyttyä siirrytään seuraavan mitattavaan kojeeseen ja lattapariin. Kalibrointeja tulee jokaisessa lämpötilassa vähintään kaksi. Mittausten päätyttyä latan vastapaino laitetaan telineeseen. Latan ylä- ja alaosasta irrotetaan ruuvit, puupalat ja suojakumit. Poistetaan latan alaosasta prisma. Vaihdetään seuraava latta ja mittaus alkaa uudelleen. Kaikki latat mitataan kolmessa lämpötilassa ja mittausten päätyttyä laserista sammutetaan virta. Säteenjakajan ja laserin päälle laitetaan suojaa. Askel-

moottori vapautetaan poistamalla ruuvi akselista. Mittaustulokset ja lämpötilatiedot kopioidaan laskentaa varten ja arvot lisätään laskentataulukkoon. [20; 23.]

Sammutetaan tietokone ja valot mittaustilasta. Ilmastointikonehuoneesta ja näyttötaulusta sammutetaan komparaattorin ilmastointi. Latta irrotetaan koukusta ja siirretään pöydälle, jossa ripustusteline irrotetaan latan ympäriltä. Latta siirretään odottamaan järjestelmäkalibrointia. [20; 23.]

Perinteiset latat:

Komparaattorilla voidaan kalibroida myös perinteisiä lattoja, jolloin käytetään mittausohjelmaa "Mikko". Asetukset ovat samanlaisia kuin viivakoodilattoja kalibroitaessa. Perinteisissä latoissa on kaksi rinnakkaista, mitattavaa asteikkoa. Lattaa siirretään sivusuunnassa niin, että kumpikin asteikko tulee kalibroitua. Muilta osin käytetään viivakoodilattojen mittausohjetta. [20; 23.]

Vaakakomparaattori:

Olosuhteiden vaikutuksia voidaan huomioida parhaiten laboratorio-oloissa. Vaaka-asentoisella komparaattorilla voidaan kalibroida muun muassa perinteisiä lattoja sekä mittatankojen indeksiviivojen välisiä etäisyyksiä. Vaaka-asentoinen komparaattori ja vanha laserinterferometri ovat edelleen käyttökunnossa. [20; 23; 25.]

Laserinterferometri sijaitsee komparaattorin oikealla reunalla. Vaakakomparaattorissa on mikroskooppi, jossa on mikrometriruuvi ja valaisin. Laserin näyttötaulusta valitaan yksiköksi millimetrit ja näyttötavaksi "Smooth" (kuva i). Havaintoaika on noin 25 sekuntia ja siirtymisnopeus korkeintaan 0,3 metriä sekunnissa. Laserin puoleisen pään paikka määrätään mikroskoopin, prisman ja laserinterferometrin avulla. Mikroskooppi suurentaa kuvan viisitoistakertaiseksi. Laserinterferometri sijaitsee komparaattorin oikealla reunalla. [23; 30.]

Kolme metriä pitkien lattojen keskellä kulkee 25 millimetriä leveä ja yhden millimetrin paksuinen invarnauha. Invarnauha on kehikossa kiinni joustavalla jousikiinnityksellä.

Latta-asteikot ovat viiden tai kymmenen millimetrin välein. Mitattavista viivaväleistä toinen siirretään mikroskoopin alle ja poikkeama havaitaan kaksi kertaa. Laser nollataan "Reset"-painikkeesta ja sama mittaus toiselle näkyvälle viivalle. Sijainti havaitaan ja laserin lukema kirjoitetaan pöytäkirjaan. [26; 27; 30.]

Latan kiinnityslaite kiinnitetään kuljetinvaunuun, latta asetetaan kiskon päälle, vaakatasoon, mitta-asteikko päällepäin ja suoritetaan tarpeelliset korkeudensäädöt. Heijastinprisma kiinnitetään laserin puoleiseen päähän, prismapidikkeeseen. Lasersäde suunnataan oikeaan kohtaan ja havaitaan ilman lämpötila, suhteellinen kosteus, ilmanpaine sekä lasketaan kompensatiokerroin. [20; 23; 30.]

Puisia lattoja kalibroitaessa, merkittävä vaikutus kalibrointituloksiin on lattojen kosteudella, joten kosteuden määrittäminen on tärkeää. Latat imevät kosteutta ympäristöstä, jolloin puu laajenee syiden suuntaisesti ja ne taipuvat selkäpuolelta kuperiksi. Vallitseva lämpötila ei vaikuta merkittävästi lattoihin. [20; 23; 30.]

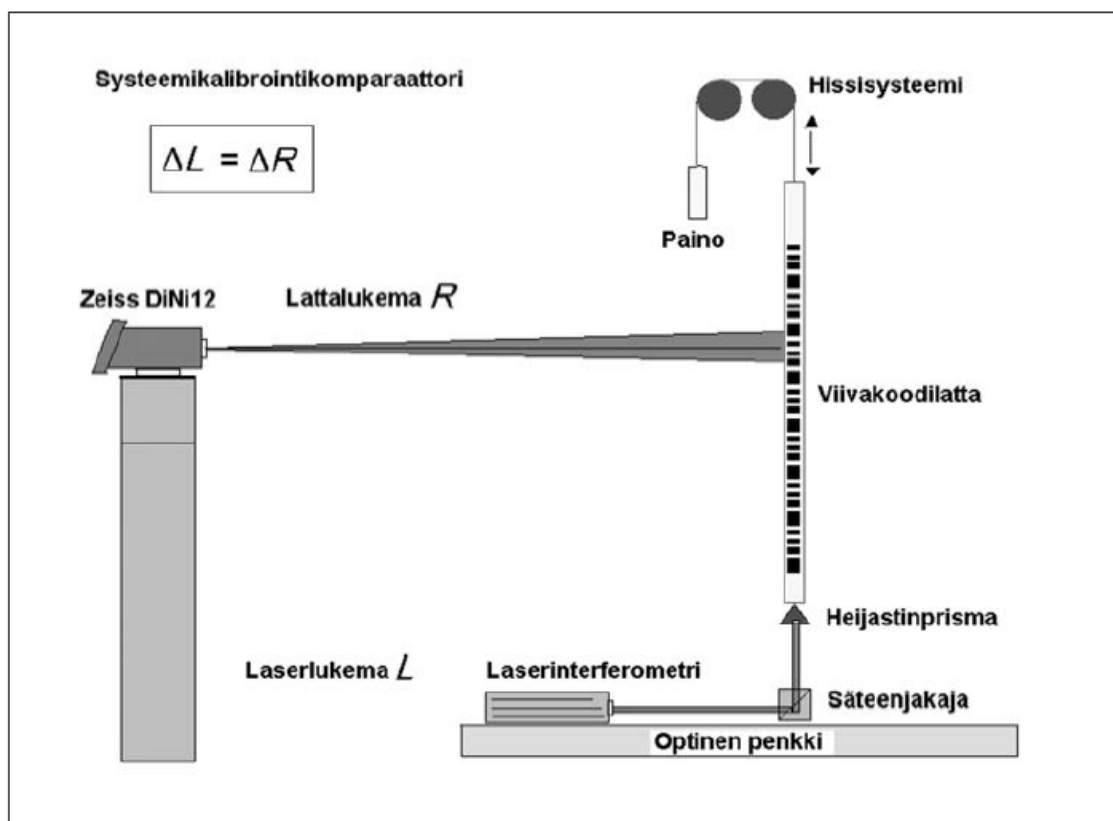


Kuva i. Vaakakomparaattorissa on mikroskooppi, laserin ohjaus- ja näyttötaulu sekä laserinterferometri. (Kuva: H. Suurmäki)

Liite 2. Järjestelmäkalibroinnin mittausohje

Järjestelmäkalibroinnin tarkoituksena on määrittää koko vaaituslaitteiston mittakaava-kerroin, joka saadaan kun sekä koje että latat kalibroidaan yhdessä. Kalibroinnissa kojeen antamaa lattalukemien erotusta verrataan laserinterferometrin vastaavaan erotukseen. [23]

Komparaattorihuoneeseen (kuva A) on rakennettu 4,5 metrin korkuiset kevytharkko-pilarit. Pilarit sijaitsevat pystykomparaattorin kuljettimesta noin kolmen ja kahdeksan metrin päässä. [20; 23.]



Kuva A. Pystykomparaattorilla tehtävän järjestelmäkalibroinnin kaaviokuva. [30]

a. Ilmastointi

Haluttu mittaustilan lämpötila asetetaan komparaattorihuoneen käytävän säätötaulun ohjauslaitteen avulla. Kalibroinneissa käytetyt lämpötilat ovat noin $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+19\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Säätötauluasetusten jälkeen kalibrointitilaan laitetaan ilmastoinnin avulla haluttu lämpötila. Lattakomparaattorihuoneen ilmastointikone käynnistetään kolmannen kerroksen LVI-tilasta, mistä glykolipumppu käännetään päälle. Tilassa on kaksi kompressoria ja ilmastointikoneyksikköä. Kahden kompressorin ohjaustaulusta varmistetaan, että ilmastointiaineen lämpötila on riittävän alhainen. Mikäli kompressorit eivät käynnisty, niin ohjaustaulusta painetaan "Reset"-painiketta. [20; 23.]

b. Laserinterferometri

Laserinterferometriin laitetaan virta päälle. Laserinterferometrin pitää lämmetä noin puoli tuntia ennen mittausten aloitusta. Mittaustilassa laitetaan tarvittavat valot päälle. Pääkytkimestä saadaan virta tietokoneeseen, askelmoottoriin sekä sääasemaan. [20; 23.]

c. Vastapaino ja säätöruuvi

Varmistetaan, että lattojen vastapaino on telineessä ja askelmoottorin lukitusruuvi on irti (kuva B). [20; 23.]



Kuva B. Latan vastapaino laitetaan telineeseen, kun vaihdetaan lattaa. Vastapainoon voi lisätä lisäpainoja tarpeen mukaan. Latan liikuttaminen komparaattorissa on helpompaa, jos latan lukitusruuvi avataan. (Kuva: H. Suurmäki)

d. Ripustusnaru

Mitattavat latat ja kojeet ovat työskentelytasolla. Latan ympärille pujotetaan päätylevyillä varustettu ripustusnaru, jolloin lattaa voidaan nostaa ripustusnarun avulla. Teline pitää latan tukevasti pystyasennossa koko kalibroinnin ajan ja latan koko paino kohdistuu pohjalevyä vasten asetettuun päätylevyyn. Puinen jatkokappale ruuvataan yhden ja kahden metrin latoille, jotta ripustusteline voidaan laittaa latan ympärille. Puinen jatkokappale kiinnitetään latan yläosaan pulteilla. Ripustusnaru säilytetään apupöydän lähellä oikein päin, jotta lattojen asentaminen olisi helppoa ja nopeaa. Latan alaosaan tulee suorapohjainen, aukollinen levy ja yläpäähän tulee levy, jossa on ripustuskoukku valmiina. Ripustusnarut halutaan saada mahdollisimman liikkumattomiksi, joten ylälevyn sekä narun ja latan väliin laitetaan pehmustelevyt. Latta saadaan mahdollisimman tukevaksi kestävä useamman tunnin kestävä kalibrointi. [20; 22; 23; 30.]

e. Latan asentaminen komparaattoriin

Latan nostamisessa komparaattoriin pitää olla erityisen varovainen, koska nostotila on pieni ja ahdas pitkille latoille. Latta asennetaan kiskon ripustuskoukkuun mitta-asteikko vaatuskojeeseen päin. Ripustuskoukkuja on kaksi, valitaan suljettu koukku. Kun latta on koukussa kiinni, liikkumattomuus varmistetaan kiristämällä yläosan ruuvit samanaikaisesti kiinni. Väliin laitetaan puupalikat ja ohuet kumisuojat, jotta lattaan ei tulisi vaurioita. Ruuvit sijaitsevat latan vasemmalla ja oikealla puolella, vain oikean puoleista ruuvia liikutetaan. Toisella kädellä pidetään suojakumeja, puupalikoita ja lattaa paikoillaan. Latan alaosa asennetaan samalla tavalla kiinni ruuveilla. [20; 23.]

f. Vastapaino

Kävelytasanteella latan vastapaino nostetaan pois sen säilytyslaatikosta, jotta lattaa voidaan liikuttaa. Vastapaino on lyijystä valettu putkimainen kappale. Painoja voidaan lisätä tarpeen mukaan. Vastapainon riittävyys varmistetaan laserinterferometrin lukemasta. Latta vedetään kuljettimen puoleen väliin, tietokoneesta katsotaan paluusäteen

voimakkuus "HP Laser Metrology" -ohjelmalla kohdasta "Linear". Vastapaino on sopiva, kun laserin lukema pysyy lähes muuttumattomana. [20; 23.]

g. Tietokoneen käynnistys

Toisen kerroksen kävelytasanteella oleva tietokone laitetaan päälle. Ohjelma käynnistyy "Mikkosys"-ohjelmalla. Tietokoneen ruudulta nähdään latan asteikko suurennettuna. Latan asentoa muutetaan säätöruuvien avulla. Asentoa voidaan siirtää sivuttain tai syvyysuunnassa. Latan viivakoodiasteikko on vaaituskojeeseen päin (kuva C). Kohdistuspisteen saamiseksi kuvan keskelle, siirretään säätökiekkojen avulla lattaa sivusuunnassa. [20; 23.]



Kuva C. Latan oikea asento järjestelmäkalibroinnissa. (Kuva: H. Suurmäki)

Kun latta on asetettu edellä kuvatulla tavalla, seurataan säteen kulkua siirtämällä lattaa ala- ja yläasennon välillä. [20; 23.]

Suuntauksen poikkeaman tulisi olla vähemmän kuin yksi millimetri, kun latta on yläasennossa. Suuntauksen onnistumista voidaan seurata laserinterferometrin "Beam Stronght" -arvon perusteella. Prosenttiarvon pitää olla yli 90. [20; 23.]

Latta laitetaan rakennuslaserin ja vaaituskojeen (kuva D) avulla suoraan. (Komparaattoritilan toisen kerroksen työskentelytilan kaiteen reunaan on kiinnitetty rakennuslaser. Rakennuslaserilla varmistetaan, että mitattava latta on myös toiselta suunnalta katsottuna mahdollisimman suorassa.) [20; 23.]



Kuva D. Vaaituslatan suoruus varmistetaan vaaituskojeen sekä rakennuslaserin avulla. (Kuva: H. Suurmäki)

h. Alaheijastimen säätäminen

Vaakapenkillä oleva alaheijastin kääntää laserin säteen 90 asteen kulmassa latan ala-osaan. Osuva säde pitää olla suorana jatkeena latalle. Vaakapenkin alaheijastinta voidaan säätää oikeaan paikkaan siirtoruuvien avulla. Alaheijastimen paikkaa voidaan säätää vaakatason suunnassa, ylös- tai alaspäin alustalla. [20; 22; 23; 24.]

i. Vaaituskojeen asennus

Vaaituskojeeseen laitetaan täyteen ladattu akku kiinni. Koje asennetaan pilarin päälle suoraan jalkaruuvien ja rasiatasaimen avulla. Data-kaapeli kytketään tietokoneesta vaaituskojeeseen. Kaapelia asennettaessa täytyy tietää tiedonsiirtoparametrit. Koje laitetaan päälle, "On/Off"-kytkimestä. Koje suunnataan viivakoodiasteikon keskelle ja tarkennetaan fokusointiruuvilla. Joillakin uusilla kojeilla on omat tehdasasetuksista tulleet koodit, joita ilman koje ja ohjelma eivät kommunikoi. Koodi täytyy olla selvillä ennen mittauksen aloitusta. [20; 23.]

Kojeen toimivuus testataan painamalla "Measurement"-painiketta. Jos kone ei suostu mittaamaan, saattaa syynä olla valaistuksesta johtuva heijastuma. Mittauksen aloituskohdaksi valitaan piste noin kymmenen millimetrin päähän latan pohjasta, merkin yläpuolelle laitetaan toinen merkki noin kahdentoista millimetrin päähän. [20; 23.]

j. Latan asettaminen oikeaan kohtaan

Latta asetetaan mittausta varten oikeaan kohtaan eli alemman merkin kohdalle ja hie-
man keskikohtaviivan oikealle puolelle. [20; 23.]

k. Lämpömittari

Mittaustilassa on kaksikanavainen Fluke-lämpömittari, joka mittaa lämpötiloja yhden ja yhdeksän metrin korkeudelta. Lämpömittarilla valvotaan lämpötilaeroja pystykuilussa. Lämpötila-arvot tallentuvat lämpömittarin muistiin. Lämpömittari tallettaa lämpötilat kymmenen minuutin välein. [20; 23.]

l. Askelmoottori

Askelmoottorin lukitusruuvi käännetään ruuvimeisselillä, ruuville tehtyyn koloon kiinni. Kolon etsimisen helpottamiseksi akseliin on tehty merkki. Ruuvi ei liiku kun kolo on löytynyt. Ruuvi kiristetään tiukasti kiinni. [20; 23.]

m. Mittauspäiväkirja

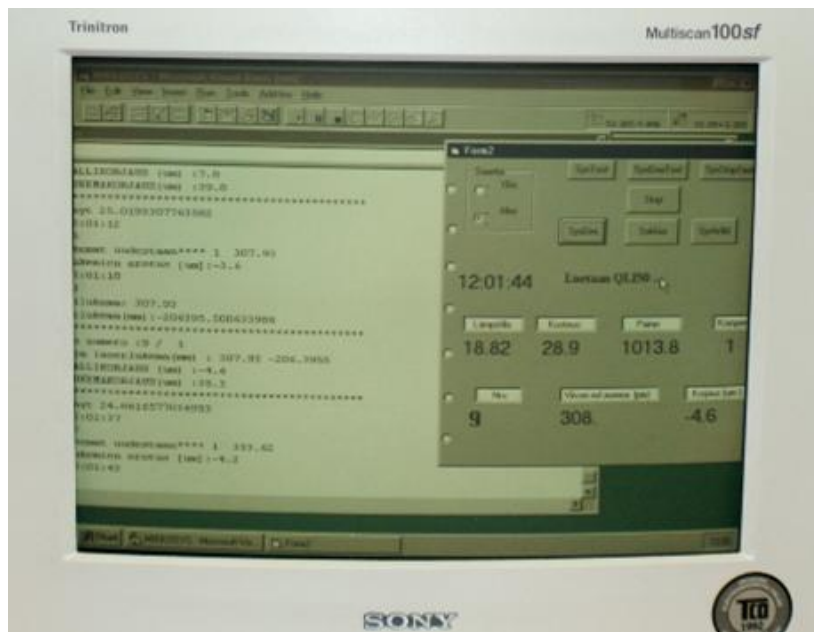
Mittauksesta pidetään mittauspäiväkirjaa, johon merkitään mittauksen aluksi ja lopuksi tehdyt asetukset, päivämäärä, kellonaika, kenen lattoja mitataan, latan numero, tunnus, lämpötilat, ilmanpaineet sekä tiedoston nimi. [20; 23.]

n. Ohjelman käynnistäminen

Tiedostoon luodaan tallennuspolku, joka löytyy "Form2"- ja "DiNi"-painikkeilla. Tallennuspolku määritetään "Mikkosys"-ohjelmassa. Painetaan "DiniSys"-painiketta, jolloin avautuu ikkuna, johon määritetään tiedoston nimi. Tiedoston uusi nimi, esimerkiksi S3181601.11 (S =systeemikalibrointi, 3=kojeen tunnus, 1=latan tunnus, 8=pilarin tunnus, 16=päivämäärä, 01=kuukausi, 11=vuosi). Haetaan "File"/ "Save project". Tietojen löytymisen helpottamiseksi, tehdään nimetyt hakemistopolut kaikille mittaus-tuloksille, järjestelmähallinnassa etukäteen. [20; 23.]

o. Mittauksen aloitus

"Mikkosys"-ohjelmasta painetaan nuolta eli "Start"-painiketta. Ikkuna kannattaa siirtää oikeaan reunaan, jotta mittaukset näkyvät vasemmassa reunassa. Painetaan "SysDiNi" ja "Alas". Mittaus alkaa. [20; 23.]



Kuva E. Mittauksen seurantaikkuna. (Kuva H. Suurmäki)

Tietokoneen näyttöruutu (kuva E) käännetään komparaattoritilan eteiseen, josta sitä voidaan seurata. Ohjelma mittaa automaattisesti latan kaksi kertaa edestakaisin. Ohjelma voidaan pysäyttää esimerkiksi yhden edestakaisen mittauksen jälkeen "Stop"-painikkeesta. [20; 23.]

p. Seuraava mittaus

Seuraavan kierroksen aloituskohtaa siirretään kaksitoista millimetriä ylöspäin ja keskikohtamerkin vasempaan reunaan. [20; 23.]

q. Manuaalimittaus

Järjestelmäkalibrointeja joudutaan joskus tekemään manuaalimittauksella. Syynä voi olla, että vaaituskojeella on sellainen asetuskoodi, jota ei saada maahantuojalta selville. Koodin puuttuminen vaikuttaa siihen, että koje ja ohjelma eivät ole yhteydessä keskenään. Manuaalimittaus tehdään muuten samoin kuin automaattisessa mittauksessa paitsi, että kojelukemat ja säätiedot kirjoitetaan käsin vihkoon ja siirretään Excel-taulukkoon myöhemmin. Manuaalimittauksessa on hyvä olla kaksi henkilöä mittamassa. Yksi lukee lukemat vaaituskojeesta, ja toinen siirtää lattaa komparaattorissa laserlukemien mukaan noin kaksikymmentäviisi millimetriä kerrallaan. [20; 23.]

r. Mittauksen päätyminen

Mittausten päätyttyä latan vastapaino laitetaan telineeseen. Askelmoottori vapautetaan poistamalla ruuvi akselista. Latan ylä- ja alaosa irrotetaan ruuvit, puupalat ja suojakumit ja latan alaosa prisma. Latta irrotetaan koukusta ja siirretään pöydälle, jossa ripustusteline irrotetaan latan ympäriltä. Mittauksen päätyttyä siirrytään seuraavan mitattavaan kojeeseen ja lattapariin. Kalibrointeja tulee jokaisessa lämpötilassa vähintään kaksi. Kun mittaus on tehty jokaiselle latalle, laserista sammutetaan virta. Säteenjakajan ja laserin päälle laitetaan suoja. Mittaustulokset ja lämpötilatiedot kopioidaan laskentaa varten. Sammutetaan tietokone ja valot mittaustilasta. Ilmastointikonehuoneesta ja näyttötaulusta käydään sammuttamassa komparaattorin ilmanvaihto. Latat ja kojeet siirretään omiin laatikoihinsa. Ulkopuolisten latat ja kojeet toimitetaan huolintaliikkeen toimesta tilaajalle takaisin. [20; 22; 23.]

Liite 3. Esimerkki laskentataulukosta

Rod	320204	1							
Level	13815	1							
Pillar	3 m								
	No.	Level reading (mm)	Laser reading (mm)	Temp (° C)	Pressure (mm Hg)	Relative humidity (%)	Laser 1 (mm)	Laser 2 (mm)	Laser-Level (µm)
Constants				20	760	50			
03-26-200912:30:40									
A1	2	0	-25.8529	20.44	750.4887	31.5	-25.8517	-25.8542	-72867.602
	3	150.36	-51.648	20.39	750.5413	31.9	-51.6469	-51.6494	-124564.78
	4	176.08	-77.3684	20.34	750.4437	32.3	-77.3674	-77.37	0.4985314
	5	201.86	-103.148	20.29	750.4587	32.6	-103.147	-103.15	-5.18E-02
	6	227.62	-128.906	20.25	750.4287	32.9	-128.905	-128.908	-2.3444314
	7	253.48	-154.759	20.22	750.4287	33	-154.758	-154.76	-7.2185118
	8	279.3	-180.585	20.19	750.4362	33.2	-180.584	-180.586	6.1181599
	9	305	-206.281	20.14	750.4962	33.5	-206.281	-206.283	-3.0450855
	10	330.71	-231.988	20.09	750.4287	33.6	-231.988	-231.99	-2.990218
	11	356.42	-257.7	20.03	750.4512	33.9	-257.699	-257.702	1.69995987
	12	382.34	-283.626	19.97	750.4587	34.1	-283.626	-283.628	6.06151512
	13	408.04	-309.322	19.91	750.5038	34.3	-309.322	-309.324	-3.753197
	14	433.6	-334.884	19.85	750.4737	34.6	-334.883	-334.886	1.64767902
	15	459.37	-360.656	19.79	750.4812	34.9	-360.656	-360.659	2.7121051
	16	485.15	-386.435	19.7	750.4587	35.1	-386.435	-386.438	-1.0037166
	17	510.77	-412.059	19.63	750.5038	35.5	-412.059	-412.061	3.79587934
	18	536.4	-437.683	19.57	750.5413	35.7	-437.683	-437.685	-6.095951
	19	562.22	-463.503	19.54	750.4812	35.9	-463.503	-463.505	-0.231915
	20	587.97	-489.255	19.49	750.5338	36.1	-489.255	-489.258	2.14611035
	21	613.85	-515.128	19.42	750.5188	36.2	-515.128	-515.131	-6.7902387
	22	639.33	-540.611	19.41	750.5338	36.4	-540.611	-540.614	3.13775554
	23	665.08	-566.36	19.39	750.5338	36.6	-566.361	-566.363	-0.77911
	24	690.85	-592.13	19.34	750.5713	36.7	-592.131	-592.133	0.20923649
	25	716.43	-617.707	19.32	750.5713	36.9	-617.707	-617.71	-3.6003937
	26	742.12	-643.399	19.27	750.5788	37.2	-643.399	-643.402	2.28427379
	27	767.9	-669.185	19.26	750.5713	37.3	-669.186	-669.188	6.50098606
	28	793.67	-694.95	19.22	750.5638	37.5	-694.95	-694.952	-5.8170393
	29	819.37	-720.655	19.17	750.5338	37.5	-720.656	-720.658	5.89047351
	30	845.02	-746.305	19.16	750.5713	37.6	-746.305	-746.308	-0.5425016
	31	870.73	-772.005	19.13	750.5863	37.8	-772.006	-772.008	-9.7024441
	32	896.38	-797.665	19.1	750.5938	37.9	-797.666	-797.668	9.95395179
	33	922.01	-823.298	19.07	750.5563	38	-823.299	-823.3	2.61086678
	34	947.76	-849.046	19.05	750.5263	38.1	-849.047	-849.05	-0.9908735
	35	973.49	-874.776	19.03	750.5563	38.2	-874.777	-874.78	-0.3338409

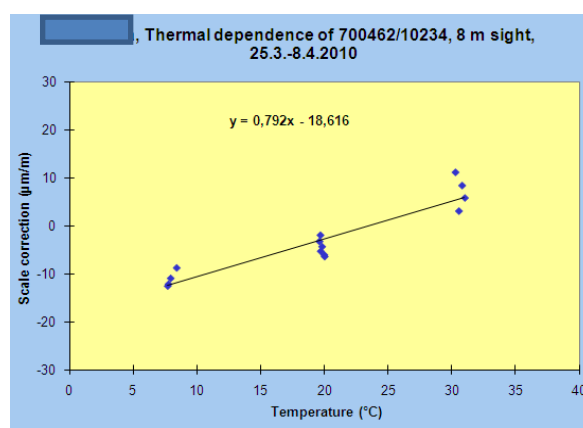
XXXXX, Instrument No. 700462 and rod No. 10234

Thermal dependence $f=aT+b$, where

$a =$ **0.79** \pm **0.09** ppm/°C $b =$ -18.62 \pm 1.82

0.2-2.8m

File	Meas.	T (°C)	d (μm/m)	e (μm/m)	f=aT+b	g=f-e	g*g	$(g*g/(n-1))^{1/2}$
S168250310	A1	19.68	-1.81	-2.02	-3.03	-1.01	1.016	
S168250310	B1	19.81	-4.13	-4.40	-2.93	1.47	2.175	
S168250310	A2	19.98	-6.25	-6.11	-2.79	3.32	11.020	
S168250310	B2	20.01	-6.14	-6.46	-2.77	3.69	13.641	
S168250310	A3	19.70	-5.21	-5.35	-3.01	2.34	5.465	
S168250310	B3	19.60	-3.15	-3.33	-3.09	0.24	0.057	
S168310310	A1	7.77	-12.14	-12.17	-12.46	-0.29	0.085	
S168310310	B1	8.41	-8.85	-8.80	-11.95	-3.15	9.950	
S168310310	A2	7.94	-10.64	-10.97	-12.33	-1.36	1.841	
S168310310	B2	7.71	-12.50	-12.57	-12.51	0.06	0.004	
S168080410	A1	30.26	10.91	11.01	5.35	-5.66	32.015	
S168080410	B1	30.54	3.03	2.97	5.57	2.60	6.779	
S168080410	A2	30.79	8.78	8.27	5.77	-2.50	6.242	
S168080410	B2	31.00	6.04	5.70	5.94	0.24	0.057	
							90.346	2.87
ave		20			-2.77			
min		20			-6.30			
max		20			0.76			



Results:

	alfa		korjaus	
3 m	0.85	0.05	-3.76	1.86
8 m	0.79	0.09	-2.77	2.87
ka.	0.82	0.07	-3.27	2.41

Liite 4. Kalibrointien hinnasto v. 2011

Finnish Geodetic Institute, P.O.Box 15, FI-02431 MASALA

Price-list 2011

Rod calibration

Traditional rod

	Type of calibration	Price without VAT (€)	Price with VAT (€)
#1	<i>Basic calibration + Determination of thermal expansion (one rod)</i>	650	800
#2	<i>Basic calibration (one rod)</i>	500	610
#3	<i>Determination of thermal expansion (one rod)</i>	500	610

Rod calibration

Bar code rod

#4	<i>Basic calibration + Determination of thermal expansion (one rod)</i>	600	740
#5	<i>Basic calibration (one rod)</i>	400	490
#6	<i>Determination of thermal expansion (one rod)</i>	400	490

System calibration

Digital level + bar code rod

#7	<i>System calibration with one rod + Determination of thermal dependence</i>	500	610
		700	860
#8	<i>System calibration with two rods + Determination of thermal dependence</i>	700	860
		1100	1350
#9	<i>System calibration with three rods + Determination of thermal dependence</i>	900	1110
		1400	1720

System calibration + Rod calibration

#10	<i>System calibration + Rod calibration (one rod)</i>	800	980
#11	<i>System calibration + Rod calibration (two rods)</i>	1400	1720

22.11.2011 Director General Jarkko Koskinen